

Effets de la nutrition sur la production. Progrès génétiques et effets de la nutrition sur la qualité de l'huile de palme (1)

M. OLLAGNIER (2), J. OLIVIN (3)

Résumé. — L'article présente les résultats des recherches de l'Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I.R.H.O.) concernant la nutrition minérale et la qualité de l'huile. Le problème de la fertilisation est traité élément par élément. L'exposé met en évidence que les teneurs en azote sont plus élevées en Afrique de l'Ouest qu'en Asie. Ceci explique les effets importants de la fumure azotée observés dans cette dernière zone et non en Afrique. En général, on trouve une bonne correspondance entre les teneurs faibles des sols en phosphore et les fortes réponses aux engrais phosphatés. Les réponses à la fertilisation potassique sont très fréquentes dans l'ensemble du réseau expérimental mondial. Leur intensité dépend des caractéristiques physicochimiques et du climat. Les principaux résultats sur les sols ferrallitiques, les sols alluviaux et sur les sols d'origine volcanique sont indiqués : réponse à la fertilisation et évolution des sols du fait de la fumure potassique. L'effet de la fertilisation magnésienne est lié assez étroitement à la nature des sols. L'absorption du magnésium est facile pour les palmiers plantés sur les sols ferrallitiques désaturés, tandis qu'elle est beaucoup plus irrégulière, voire inexistante, dans le cas des sols formés sur des matériaux d'origine alluviale ou volcanique. Dans les zones éloignées de la mer, les sols sont souvent carencés en chlore. L'apport de KCl peut avoir un effet positif sur la production, même si le potassium ne se trouve pas à un niveau de carence, en relevant les teneurs en chlore de la feuille jusqu'au voisinage de 0,6 p. 100. Les analyses de régimes montrent que le chlore augmente le poids moyen des régimes et peut doubler le taux d'extraction des palmistes. Il existe peu de résultats montrant un effet de la nutrition minérale sur la qualité de l'huile de palme. Par contre, il y a une forte variabilité du taux d'acides gras insaturés dans l'huile de *E. guineensis* et *E. melanococca*. La bonne héritabilité de ce taux et l'utilisation dans un test précoce de la bonne relation entre la composition en acides gras de l'huile du fruit et celle de la feuille, offrent de bonnes possibilités d'amélioration.

Lors de la dernière réunion du Programme Advisory Committee, le Dr Ng Siew Kee a conduit un séminaire consacré à « Advances in oil palm nutrition and productivity in Malaysia ».

Le présent exposé sera consacré à l'examen des recherches poursuivies par l'I.R.H.O. sur des problèmes de même nature qui se posent dans un certain nombre de régions élaéicoles autres que la Malaisie : Afrique de l'Ouest, Amérique du Sud, Indonésie (1).

On y examinera les problèmes de nutrition et de fertilisation élément par élément, puis on abordera les effets des engrais et du matériel végétal sur la qualité de l'huile.

EFFETS DE LA NUTRITION MINÉRALE SUR LA PRODUCTION

A. — NUTRITION AZOTÉE

Il y a une opposition totale entre les résultats des expériences de fertilisation réalisées sur les sols ferrallitiques d'Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire, Bénin, Nigeria, Cameroun) et ceux obtenus en Indonésie par exemple sur des sols d'origine volcanique.

En Afrique de l'Ouest, les réponses aux engrais azotés sont nulles, alors qu'en Indonésie elles atteignent 1,7 t de régimes/ha en moyenne dans un réseau étudiant le sulfate d'ammoniaque dans 7 essais de Marihat Research Station (extrêmes : + 0,5 t pour une teneur en N du témoin de 2,46 et 4 t pour une teneur en N du témoin de 2,25).

La réponse la plus forte a été observée dans une expérience réalisée par P. T. Socfindo, où elle a atteint en moyenne pendant 8 ans (entre 13 et 21 ans d'âge) 6,5 t de régimes/ha. Au-delà (22 et 23 ans) la réponse diminue et n'atteint plus que 3 t de régimes/ha.

En Afrique, la teneur en N des feuilles diminue peu avec l'âge. A l'inverse, les jeunes plantations ont des teneurs de 2,7 à 2,9 en Indonésie puis, sans apport d'azote, ces teneurs diminueraient vers 2,10 dans les plantations non fertilisées. Mais on parvient à les stabiliser vers 2,50 par des applications d'engrais azoté (Fig. 1). La raison de cette différence de comportement est inconnue.

Le bilan de l'azote dans une plantation de palmiers à huile est mal appréhendé puisque le Dr Ng Siew Kee indique que les exportations d'azote d'une plantation de palmiers à huile produisant 25 t de régimes/ha atteignent 192 kg d'azote/ha, alors que de fortes fumures azotées (3 kg d'urée/arbre) n'en apportent que 180.

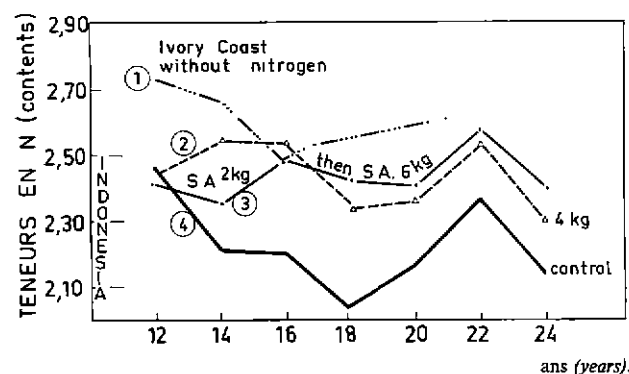


FIG. 1. — Nutrition azotée en Côte d'Ivoire et en Indonésie (Nitrogen nutrition in Ivory Coast and Indonesia).

(1) Communication présentée au 4^e Programme Advisory Committee (PORIM), 11-21 avril 1984, Kuala Lumpur (Malaisie).

(2) Directeur des Recherches à l'I.R.H.O., 11, Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

(3) Agronome au Département Agronomie I.R.H.O., GERDAT, B.P. 5035, 34032 Montpellier (France).

(1) : Côte d'Ivoire sans azote.

(2) : 4 kg.

(3) : 2 kg, puis 6 kg.

(4) : témoin.

B. — NUTRITION PHOSPHORÉE

Sous l'égide de l'Institut Mondial du Phosphate (IMPHOS), les Instituts du GERDAT et l'I.R.H.O. ont entrepris en 1976 une enquête systématique sur le statut phosphorique des sols tropicaux.

Les échantillons prélevés dans des expériences de fertilisation, bien suivies sur le plan connaissance des rendements et analyses foliaires, ont subi un ensemble d'analyses et de tests biologiques (en vases de végétation selon la méthode Chaminade, en utilisant *Agrostis* comme plante témoin). Différentes méthodes de dosage du phosphate sont utilisées :

- P total (attaque perchlorique et nitrique),
- P Saunders (extraction par la soude 0,1 N à chaud),
- P Olsen (extraction par un réactif composé de FNH_4 0,5 N et NaHCO_3 0,5 N à pH 8,5),
- P Bray n° 2 (extraction par NH_4F 0,03 N et HCl 0,1 N),
- P extrait par résines,
- P fixé ou capacité de fixation du sol pour le phosphore.

Le tableau I indique pour les principaux types de sols, classés en : sols ferrallitiques, sols alluviaux ou sols volcaniques (que nous retrouverons dans les paragraphes consacrés au potassium et au magnésium), les niveaux-seuils de P du sol correspondant aux différentes méthodes d'extraction, les valeurs moyennes des niveaux de phosphore, correspondant à ces différentes méthodes, relevés dans un certain nombre d'expériences d'engrais, ainsi que les réponses obtenues aux applications de phosphates.

D'une façon générale, on trouve un bon agrément entre teneurs faibles et réponses fortes (et inversement) dans les sols ferrallitiques ou alluviaux.

Dans les sols volcaniques il y a quelques discordances dans les expériences d'Indonésie et il faut considérer soit le niveau de phosphore du sol, soit le pouvoir fixateur, pour relier caractéristiques du sol et réponse aux phosphates.

C. — NUTRITION POTASSIQUE

Le potassium est, avec l'azote, l'un des éléments dont le palmier à huile a le plus besoin pour assurer sa croissance

végétative (immobilisation) et pour produire des régimes (exportation). Pour une production annuelle modeste de 15 t de régimes/ha, les besoins sont de l'ordre de 100 kg de potassium.

Les réponses à la fertilisation potassique sont très fréquentes dans l'ensemble du réseau expérimental mondial. L'examen de l'inventaire de toutes les expériences montre qu'environ 70 p. 100 d'entre elles répondent à la fumure potassique mais avec une amplitude extrêmement variable. Selon les situations, 1 tonne de KCl procure en effet une augmentation de rendement comprise entre 6 et 14 t de régimes (1,2 à 2,8 t d'huile).

L'intensité de la réponse dépend largement des caractéristiques physico-chimiques du sol et du climat. C'est ainsi que, dans la zone de culture du palmier à huile, on peut distinguer les grandes classes de sol suivantes :

- les sols ferrallitiques (ferralsols) plus ou moins désaturés formés sur des roches-mères d'origines sédimentaires, éruptives, métamorphiques,
- des sols d'apport, en général peu évolués, formés sur des alluvions fluviales (fluvisols),
- des sols peu évolués, ou évoluant vers la ferrallitisation, formés sur des matériaux d'origine volcanique.

Grâce à un réseau expérimental multilocal très diversifié, l'I.R.H.O. a pu étudier le statut de la nutrition potassique et les besoins en éléments fertilisants du palmier à huile planté sur chacun des trois grands groupes de sols. Les résultats expérimentaux mettent en évidence des différences de comportement importantes selon les caractéristiques physico-chimiques des sols.

I. — La nutrition potassique sur les sols ferrallitiques.

De nombreux types de sols plantés en palmiers à huile se rattachent à cette grande classe. On les trouve dominants en Afrique de l'Ouest, fréquents en Amérique latine (bassin amazonien par exemple), présents en Malaisie, Indonésie.

On va décrire essentiellement les résultats obtenus en Côte d'Ivoire car ils sont suffisamment représentatifs pour caractériser la nutrition potassique de toutes les plantations de palmiers réalisées sur les sols ferrallitiques dont le dénominateur commun est la présence, en proportion dominante, de kaolinite dans la fraction argileuse. Celle-ci a

TABLEAU I. — Caractéristiques des sols et réponses aux engrais phosphatés
(Soil characteristics and responses to phosphate fertilizers)

	Sols ferrallitiques (Lateritic soils)			Sols alluviaux (Alluvial soils)			Sols volcaniques (Volcanic soils)				
	Côte d'Ivoire (Ivory Coast)	Brésil (Brazil)		Colombie (Colombia)	Indonésie (Indonesia)	Pérou (Peru)	Equateur (Ecuador)	Indonésie (Indonesia)			
Niveaux seuils de P du sol pour (Threshold soil P levels for) IC = 50	Sédiments tertiaires (tertiary)	Socle (Base)						CP1	BB3	TG2	AK CP1
Total 400 ppm	500	300	80	1 000	1 320	475	800	270	134	153	100
Saunders 130	283	84	22	440	510	92	200	16	40	18	18,5
Olsen 30	61	13	8		96	32	70	25	14,7	38,5	11
Bray 15	41	7,3	3,9		9,5	11	2,8	1,7	5,2	2	1,1
P extrait par résines (extracted by gums)	26	5,4	1,6		79	17,5	14,3	4,5	8,6	3	1,9
Pouvoir fixateur (Fixing power)- ppm	300	230	200	450	950	885	2 300	530	820	790	1 040
Réponse aux (Response to) phos- phates p. 100	non (no)	+ 10	100	0	0	0	0	50	0	0	30

donc un pouvoir fixateur faible, tant en quantité qu'en énergie de rétention, aussi bien pour le potassium natif que pour le potassium apporté. Les quantités de potassium disponibles initialement sont donc très facilement mobilisées par le palmier à huile et permettent d'assurer une nutrition potassique satisfaisante pendant les premières années, du moins en première génération sur défrichement forestier. A terme, la déficience potassique est néanmoins inexorable comme en témoignent les exemples suivants :

1. — Les sols formés sur les sédiments sableux tertiaires du Continental terminal de Côte d'Ivoire.

Il s'agit de sols ferrallitiques très désaturés de teinte jaune en général (ferralsols, xanthic). La texture, sableuse en surface, est sablo-argileuse à argilo-sableuse en profondeur (100 cm). Les teneurs en carbone et en azote total de la couche superficielle (0-20 cm) sont respectivement voisines de 1 et 0,1 p. 100. Le pH est acide : 4,5 à 5,5. La somme des cations échangeables est comprise entre 1 et 2 meq/100 g, elle est inférieure à 1 meq/100 g dans le cas des séries les plus désaturées (zone de savanes). La teneur en potassium échangeable est faible ou très faible puisqu'en général comprise entre 0,05 et 0,15 meq/100 g. Les teneurs en phosphore total et assimilable sont en général élevées.

a) Zone forestière.

L'expérience LM-CP 19 de La Mé (plantation 1965) illustre très bien le scénario de la nutrition potassique. Dans cette expérience, qui a pris fin en 1978, il s'agissait de savoir avec le maximum de précisions les conditions de la nutrition minérale lors de l'entrée en déficience potassique des palmiers. Le protocole très simple ne comportait que deux objets, K0 et K1, respectivement sans et avec fumure potassique (Fig. 2).

Les teneurs foliaires de l'objet K1 ont été maintenues entre 0,9 et 1 p. 100 par des applications annuelles de chlorure puis de sulfate de potassium, peut-être excessives, de 3 kg/arbre.

Par contre, les teneurs de l'objet K0 sans fertilisation potassique se sont maintenues au voisinage de 0,9 p. 100 jusqu'à l'âge de 8 ans, puis se sont effondrées à presque 0,6 en 5 ans. Le palmier à huile planté sur les sables tertiai-

res a donc la possibilité d'absorber le potassium de l'engrais et éviter ainsi une chute des teneurs foliaires.

Le poids moyen des régimes permet de distinguer significativement les deux traitements à partir de l'année 9 (1974), c'est-à-dire immédiatement après que les teneurs foliaires de K0 aient franchi le seuil de 0,9 p. 100. Le rendement en kilos de régimes ne diffère que deux ans plus tard, avec respectivement 99 et 118 kg de régimes/arbre/an pour K0 et K1. Sur 4 années consécutives, on constate que la différence de production devient significative avant même que les teneurs ne franchissent la barre de 0,9 p. 100 (moyennes des campagnes 1970/71 à 1973/74 avec, respectivement, 106 et 112 kg/arbre/an pour K0 et K1).

Dans l'intervalle de teneurs 1,0 à 0,9 p. 100, la fumure potassique permet donc d'augmenter le rendement de quelque 5 p. 100, marge suffisante pour rentabiliser les doses modestes ; en dessous de 0,9 p. 100, la plus-value passe rapidement à plus de 10 p. 100 et permet de rentabiliser des doses massives de l'ordre de 3 kg d'engrais potassique/arbre/an.

L'expérience LM-CP 23 de La Mé (plantation 1965) étudie quant à elle trois doses annuelles de chlorure de potassium (0-1-2 kg/arbre). La teneur foliaire en K du témoin a franchi le seuil de 0,9 p. 100 en 1975 à l'âge de 10 ans, puis est tombée à une valeur inférieure à 0,6 p. 100 en 1981. Par contre, les teneurs de la dose intermédiaire de KCl sont toujours restées supérieures à 0,8 p. 100 et celles de la dose la plus élevée sont toujours restées supérieures à 0,9 p. 100.

Le tableau II donne les premières étapes de la nutrition minérale et de la production observées sur cette expérience.

Les résultats précédents montrent qu'après son apparition la carence potassique devient rapidement très sévère. On peut distinguer deux périodes : tout d'abord de 1969 à 1973 les teneurs foliaires en K et les productions ont été identiques pour les 3 objets ; après 1975, la carence potassique s'aggrave d'année en année pour le témoin tandis que les teneurs des 2 autres objets ne commencent à différer sensiblement que durant les dernières années. Pendant cette 2^e période, une dose annuelle réduite de 1 kg de KCl procure, par rapport au témoin, une augmentation de la production annuelle de 10 kg/arbre presque aussi élevée que pour la dose de 2 kg de KCl.

Sur une période moyenne de 10 ans, une dose annuelle modérée de 1 kg de KCl/arbre/an a permis de maintenir la teneur foliaire en potassium à une valeur supérieure, ou très proche, du seuil de 0,9 p. 100 et cette fumure a été rentabilisée par l'augmentation de production.

Les deux expériences précédentes ont démontré qu'en l'absence de fumure l'entrée en carence potassique était inexorable et qu'elle se traduisait par une baisse rapide des teneurs foliaires et de la production. Par ailleurs, elles ont également montré qu'il est facile d'éviter cette évolution,

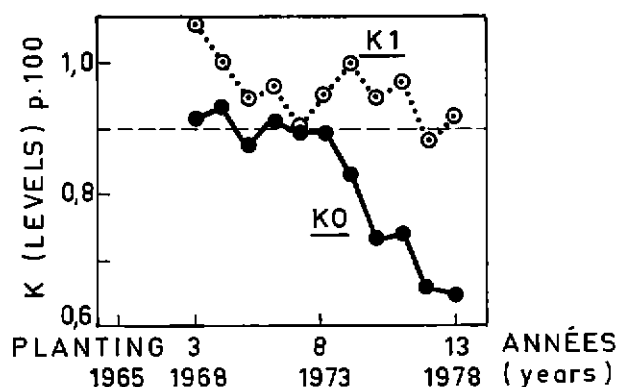


FIG. 2. — Côte d'Ivoire (Ivory Coast) (LM-CP19). Evolution des teneurs foliaires en potassium et de la production (Evolution of leaf K levels and of yield).

Poids moyen régime (Bunch mean weight) (kg)	K0	4,0	5,4	6,8	10,1	11,0	12,8	13,9	13,4	13,3	11,8
	K1	4,2	5,7	7,2	10,3	11,5	13,4	15,2**	15,3**	15,4**	14,7**
Kg régimes/arbre/an (Kg bunches/tree/year)	K0	43	77	67	125	112	120	128	136	99	46
	K1	52	75	73	127	127	127	135	144	118**	63**
Kg régimes/arbre/an Moyenne des 4 dernières années (Kg bunches/tree/year - mean of 4 last years)	K0	—	—	—	80	96	106	121	124	121	102
	K1	—	—	—	82	99	112*	128*	132*	131*	115*
	% de K0	—	—	—	103	103	106	105	106	109	113

TABLEAU II. — Côte d'Ivoire (*Ivory Coast*)
— LM-CP 23 — Evolution des teneurs foliaires
en potassium et de la production
(*Evolution of leaf potassium contents and yield*)
à partir de 1970 — 5 ans (*from 1970 —*
5 years onward) (1)

Doses annuelles de KCl/arbre (<i>Dose of KCl/tree/year</i>)	0	1	2
1969	1,08	1,22**	1,26**
1972	0,96	1,08**	1,10**
Moyenne (<i>Mean</i>) 1969/72 (4 ans - <i>years</i>)	1,02	1,12	1,16
Production annuelle moyenne (4 ans) en kg de régimes/arbre (<i>Mean annual</i> <i>yield - 4 yrs - in kg bunches/tree</i>) 1969/70 - 1972/73	65	68	67
1974	0,92	1,07**	1,13**
1975	0,82	0,98**	1,01**
1979	0,66	0,88**	0,96**
1983	0,58	0,87**	0,97**
Moyenne (<i>Mean</i>) 1974/83 (10 ans - <i>years</i>)	0,71	0,92**	0,99**
Production annuelle moyenne (8 ans) en kg de régimes/arbre (<i>Mean annual</i> <i>yield - 8 yrs - in kg bunches/tree</i>) 1974/75 - 1981/82	85 (100)	95** (112)	97** (114)

(1) Fumures antérieures (*Earlier fertilizer application*) (kg/arbre/*tree*)

	1965	1966	1967	1968	1969
K0	0	0	0	0	0
K1	0	0	0,35	0,50	0,75
K2	0	0	0,70	1,00	1,50

de façon économique, par l'apport d'un engrais potassique. L'expérience CI-CP 1 à Eloka (plantation 1974) apporte des informations complémentaires sur la **rémanence** de la fumure potassique et sur les **effets d'une fertilisation entreprise seulement au début de la baisse des teneurs foliaires** au moment de l'apparition de la déficience potassique.

L'interruption de la fumure potassique à 8 ans (1972), quand la teneur foliaire est de 0,907 p. 100, entraîne deux ans plus tard l'amorce d'une chute rapide des teneurs foliaires (0,7 p. 100 à 13 ans). **La rémanence de la fumure potassique sur la nutrition minérale ne dure que 2 ans environ.**

Lorsque la fumure potassique est appliquée pour la 1^{re} fois à partir de 8 ans (1972), alors que la teneur atteint juste le seuil de 0,9 p. 100, elle permet d'enrayer une baisse légère de cette teneur en 1973, puis de la maintenir ensuite à une valeur presque égale à celle de l'objet fumé depuis le début de l'essai. Les productions des 2 traitements sont égales et toutes deux supérieures à celles du témoin jamais fumé (Tabl. III).

Il est donc suffisant pour maintenir le potentiel productif d'apporter la fumure juste au moment où les teneurs foliaires indiquent une entrée très prochaine en déficience. La correction de la nutrition minérale est pratiquement immédiate.

b) Zone de savanes.

Les sols de savane appartiennent aux phases les plus carencées nativement en K⁺ des sables tertiaires. De plus,

TABLEAU III. — Côte d'Ivoire (*Ivory Coast*) — CI-CP1. — Evolution des teneurs foliaires en potassium et de la production
(*Evolution of leaf potassium contents and yield*)

Fumure KCl (<i>Fertilizer</i>)	Depuis la plantation (<i>Since planting</i>)	A partir de 8 ans (<i>From 8 yrs onward</i>)	Témoin sans fumure (<i>Unmanured control</i>)
K % moyennes (<i>Mean % K</i>)	1968/72 1974/80	1,05 0,91**	1,02 0,71
Production moyenne (<i>Mean yield</i>) 1977/78 - 1980/81 (4 ans - <i>years</i>) kg régimes/arbre (<i>bunches/tree</i>)	72** (118)	75** (123)	61 (100)

TABLEAU IV. — Côte d'Ivoire (*Ivory Coast*) — DA-CP 13 —
Evolution des teneurs en K et de la production (*Evolution of K contents and yield*)

	Années (<i>years</i>)	Age (<i>ans-yrs</i>)	K1	K2	K3
Teneurs en moyennes en K (<i>Mean K content</i>) p. 100	1968-73	4- 9	0,497	0,824	0,896
kg KCl/arbre (/tree) (1)	1964-72	0- 8	3,5	11,5	19,5
kg régimes/arbre (<i>bunches/tree</i>) (1)	1967-73	4- 9	418 (100)	498 (119)	524 (125)
Teneurs moyennes en K (<i>Mean K content</i>) p. 100	1974-79	10-15	0,599	0,813	0,947
kg KCl/arbre (/tree) (1)	1973-78	9-14	4,5	9	18
kg régimes/arbre (<i>bunches/tree</i>) (1)	1973-79	10-15	554 (100)	630 (114)	664 (120)
kg régimes/arbre (<i>bunches/tree</i>) (1)	1967-79	4-15	972 (100)	1128 (116)	1188 (122)
kg de KCl/arbre (/tree) (1)	1964-78	0-14	0,5	1,4	2,5

les palmiers ne disposent pas pendant les premières années de plantation des restitutions au sol provenant de la décomposition des andains.

L'expérience DA-CP 13 à Dabou (plantation 1964) a étudié 3 doses d'engrais potassique. Le témoin (K1) lui-même recevant une fumure réduite, 500 g, puis 750 g de KCl/arbre/an pour tenir compte de la pauvreté des sols. La carence en potassium a cependant été très forte dès le début, puisque la teneur foliaire du témoin était inférieure à 0,6 p. 100 avec 500 g de KCl. Les teneurs des autres objets ont été fortement améliorées avec un effet progressif des doses croissantes de KCl ; cependant, même la dose la plus élevée n'a pas permis d'atteindre 1 p. 100 dans la feuille à l'âge de 15 ans.

Les doses K2 et K3 procurent des augmentations substantielles de production par rapport au témoin. Elles sont comprises entre 20-25 p. 100 selon les doses et les époques considérées (Tabl. IV).

Le facteur de rentabilité R (1) de la fertilisation varie fortement selon les doses considérées (Tabl. V).

TABLEAU V. — Côte d'Ivoire (Ivory Coast)
— DA-CP 13 —
Facteur « R » de rentabilité de la fumure
(Factor « R » for profitability of fertilizer)

	1967/73	1973/79	1967/79
K1 à (to) K2	2,9	4,9	3,6
K1 à (to) K3	1,9	2,4	2,1
K2 à (to) K3	0,9	1,1	1,0

$$R = \frac{\text{Revenu net supplémentaire (Net additional income)}}{\text{Investissement suppl. dû à l'engrais (Additional investment in fertilizer)}} = \frac{R}{I}$$

R = Vente de la production supplémentaire d'huile
— son coût de production (Sale of additional oil production
— its production cost).

I = Prix de l'engrais épandu aux champs (Price of fertilizer applied to field).

Durant la première période 1967/73, l'augmentation de production due à la dose K2 a été très largement rentabilisée (R = 2,9) et encore plus durant la deuxième période (R = 4,9). Au contraire, le supplément de dose qui sépare K2 et K3 est juste compensé par l'augmentation de production ; c'est une opération blanche dont l'intérêt n'est pas évident, sauf si les circonstances militent en faveur de la production maximale.

2. — Les sols formés sur les « granites » de la région de Soubré (Côte d'Ivoire — Expérience CI-CP 5).

Il s'agit de sols fortement désaturés. Les teneurs en carbone et en azote total de la couche superficielle (0-20 cm) sont respectivement voisines de 2,5 et 0,2 p. 100. Le pH est acide : 5. La somme des cations échangeables est toujours faible, 3,6 meq/100 g, avec une teneur en K+ échangeable de 0,10 meq/100 g, donc faible. Les teneurs en phosphore total et assimilable sont faibles.

L'expérience CI-CP 5 de Soubré (plantation 1969 après forêt) étudie 4 doses de KCl et 2 doses de superphosphate (absence-présence). Dès le début, le diagnostic foliaire a mis en évidence l'existence d'une déficience en phosphore

vis-à-vis de la nutrition azotée (équilibre N/P), qui était facilement corrigée par les apports de superphosphate simple effectués depuis la plantation (2 kg/arbre à partir de l'âge de 2 ans). Cette fumure phosphatée a procuré une augmentation significative de la production totale de 11 p. 100 (4 t de régimes/ha) pour la période 1975/78 (6 à 9 ans).

La fumure potassique n'a pas eu d'effet sur les teneurs en potassium avant 1980 (11 ans), année durant laquelle la teneur du témoin K0 ne recevant pas de KCl est tombée au niveau de 0,8 p. 100, alors que celles des niveaux K2 et K3 se maintenaient à 0,9 p. 100. La même année, est apparue pour la première fois une interaction entre les fumures phosphatée et potassique. Sur la production cumulée de 5 campagnes 1978/79 à 1982/83 (10 à 14 ans), cette interaction n'est pas significative, mais la production totale la plus élevée, 65,2 t de régimes, est obtenue avec le traitement P1K1 alors que le témoin P0K n'a produit que 57,7 t (— 11,5 p. 100).

3. — Conclusions.

L'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sur les sols ferrallitiques désaturés de Côte d'Ivoire permettent de tirer des règles générales pour gérer la fertilisation potassique en fonction des teneurs foliaires.

a) Les réserves potassiques initiales des sols, renforcées, dans le cas des zones forestières, par celles de la masse végétale abattue pour la mise en culture, permettent d'assurer une excellente nutrition potassique sans apport de fumure jusqu'à un âge de 8 à 10 ans (à de rares exceptions près).

b) Les teneurs foliaires en potassium, notablement supérieures à 1 p. 100 à l'origine, diminuent ainsi ensuite progressivement au fur et à mesure de l'utilisation des réserves naturelles. Lorsque les teneurs approchent le niveau de 1 p. 100, on n'obtient pas encore, sauf exception, d'augmentation de production permettant de justifier un apport de fumure. Une fertilisation potassique modérée n'est cependant pas perdue car elle retarde le processus d'appauvrissement des sols et permettra d'intervenir moins massivement par la suite.

c) Si aucune fumure en K n'est appliquée, les teneurs foliaires continuent à décroître et franchissent le seuil de 1 p. 100. Dans l'intervalle 1 à 0,9 p. 100, l'application d'une dose de 1 500 g/arbre/an enrayer la décroissance des teneurs mais ne se traduit pas toujours par une augmentation rentable de production.

d) Lorsque les teneurs tombent en dessous de 0,9 p. 100 sans apport de fumure, l'augmentation de production obtenue en maintenant les teneurs à 0,9 p. 100 varie progressivement de 1 à 3 t de régimes/ha et valorise des doses croissantes comprises entre 1 500 et 3 000 g de KCl.

e) Un arrêt prolongé, et *a fortiori* définitif, des fumures potassiques entraîne une chute rapide des teneurs en potassium, qui s'abaissent à 0,85 p. 100 en moins de 3 ans, niveau qui peut déjà se traduire par des pertes sensibles de production.

4. — La dynamique des cations dans les sols ferrallitiques.

Des essais réalisés aux champs, sur les sables tertiaires de Côte d'Ivoire avaient montré la grande mobilité du potassium apporté par les engrais dans ce type de sol. Cette mobilité, qui correspond à un passage rapide de K dans la « solution de sol », constitue à la fois un avantage et un inconvénient :

— un avantage, car le K ainsi en solution est facilement accessible aux racines, sauf dans le cas d'un fort déséquilibre cationique de cette solution de sol,

— un inconvénient, car il est alors très sensible au phénomène de lessivage (Fig. 3), ce qui conduit à une perte d'éléments fertilisants que l'on peut limiter en effectuant l'épandage de l'engrais sur la plus grande surface possible (tout le rond au jeune âge, ou dans l'interligne plus tard).

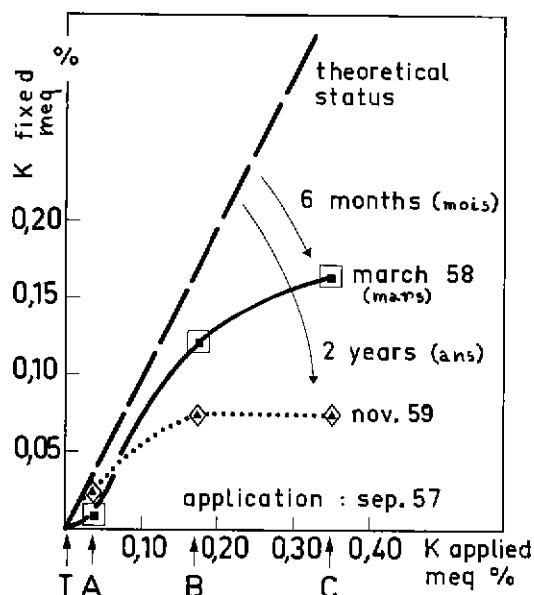


FIG. 3. — Côte d'Ivoire. Evolution des engrais potassiques dans le sol (Ivory Coast - Evolution of potassium fertilizers in the soil).

Plus récemment, un essai de percolation en colonnes de terre a été réalisé pour étudier la dynamique du potassium (K^+) et des autres cations dans l'horizon superficiel (0-20 cm) du sol de l'expérience LM-CP 23 qui a été décrite au § I, 1, a et dans laquelle on obtient une réponse à la fumure potassique (v. tableau ci-dessous).

Deux objets ont été étudiés, le témoin avec le sol tel quel et un objet avec potassium qui avait reçu à la surface de la colonne, l'équivalent de 300 g/m² de KCl, soit 3,2 meq de K, pour 100 g de sol des colonnes. Cette concentration était en fait supérieure à celles réellement utilisées au champ où 2 kg de KCl sur un rond de 3 m de rayon correspondent à 70 g/m².

Toutes les colonnes ont reçu durant 24 jours un arrosage à l'eau permutée ce qui, à la fin de la manipulation, représentait l'équivalent d'une hauteur de pluie de 840 mm.

LM-CP 23 — Côte d'Ivoire (La Mé). — Principales caractéristiques physico-chimiques du sol superficiel (0-20 cm de profondeur).

P. 100			
Argile	14	Capacité d'échange des cations (1)	0,90 meq/100 g
Limon	3	K^+ échangeable	0,05 meq/100 g
Sables fins	26	Ca^{++} —	0,31 meq/100 g
Sables grossiers	57	Mg^{++} échangeable	0,12 meq/100 g
Carbone	0,68	pH (eau)	5,00
Azote total	0,67 p. 1000		

(1) Méthode de dosage à la cobaltihexamine.

Les résultats confirment la grande mobilité de K^+ et la faible capacité de rétention des sables tertiaires pour ce cation. A l'issue du 24^e arrosage, il ne restait dans le sol que 17 p. 100 du K^+ apporté à la surface de la colonne, soit 0,40 meq/100 g de sol. Cette faible quantité de K^+ était retenue par le seul complexe absorbant, suite au déplacement d'une quantité totale de Ca^{++} et Mg^{++} échangeables équivalente (0,35 meq/100 g). Il en résulte que le K échangeable représente à lui seul, en fin d'essai, 90 p. 100 de la somme $K^+ + Ca^{++} + Mg^{++}$ échangeables. Il existe donc une forte pression potassique dans le sol.

5. — Evolution des sols formés sur les sédiments sableux tertiaires en plantation de palmiers à huile.

Des plantations de palmiers ont été entreprises dès 1930 dans la savane de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire).

Une replantation a été entreprise depuis 1972. Il est apparu après quelques années que la production n'était pas telle que permettaient de l'espérer la qualité du matériel végétal et le potentiel climatique. Les rendements sont inférieurs de 20 à 30 p. 100 à ceux des extensions (plantation de première génération).

Ces faibles performances sont associées à des phénomènes caractéristiques :

- mauvais développement de la couverture de *Pueraria*, envahissement par les graminées,
- jaunissement du feuillage des palmiers et réduction du nombre de feuilles vertes,
- aggravation nette des attaques de cercosporiose, d'acariens et de termites (sur les racines),
- déficience du système racinaire qui se développe et se ramifie beaucoup moins en replantation qu'en extension.

Le phénomène n'est d'ailleurs pas propre aux seules replantations car on constate aussi une dégradation lente du potentiel des extensions qui baisse vers l'âge de 15 ans.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer cette perte de fertilité du sol. Il apparaît que la cause en est complexe et qu'elle est en relation avec tous les phénomènes de dégradation des sols qui accompagnent une altération de la structure, un déséquilibre cationique du complexe absorbant, en particulier perte des ions floculants Ca^{++} et Mg^{++} .

a) Altération de la structure des sols.

• Tassement du sol,

Les mesures de densité apparente montrent que les horizons superficiels se compactent en plantation âgée ; en savane il existe un horizon organique meuble jusqu'à 30-40 cm de profondeur. Au contraire, en extension, dès

l'âge de 15 ans il se crée autour de 5 cm de profondeur un horizon colmaté, impénétrable (Fig. 4) dans les interlignes utilisés pour la circulation des engins et l'application de la fumure.

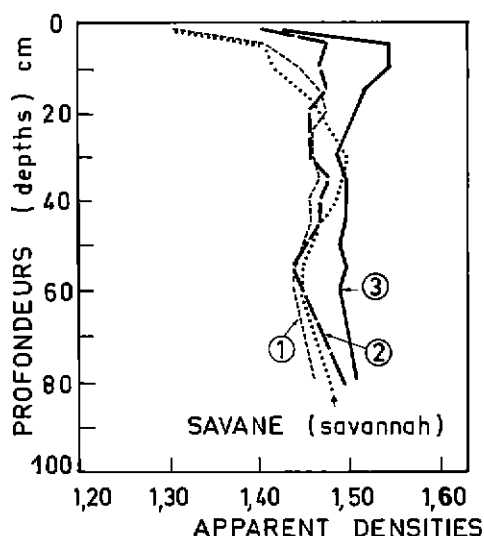


FIG. 4. — Côte d'Ivoire - Savane de Dabou. Evolution des profils de densité apparente du sol avec l'âge dans l'interligne, en extension (Ivory Coast - Dabou savannah. Evolution with age of soil apparent density profiles in the interrow in extensions).

Extension : (1) = N8 ; (2) = N16 ; (3) = N30.

Cette sole se retrouve en **replantation** car les façons culturales trop superficielles n'ont pu la détruire ; au contraire, les nombreux passages de pulvérisateurs au moment de la préparation du terrain seraient en partie responsables de la création d'une sole compacte vers 10 cm.

• Réduction du domaine d'eau disponible.

La rétention en eau des horizons superficiels, mesurée en petite saison sèche, est inférieure d'environ 20 p. 100 en replantation par rapport à l'extension.

• Battance du sol.

La végétation du sous-étage s'éclaircit progressivement en replantation sous l'effet de l'entretien et des brûlures causées par les engrais, les légumineuses sont remplacées par des herbacées. La surface du sol, moins protégée, est plus susceptible de se dégrader sous l'effet des pluies et du ruissellement.

b) Mécanismes de l'altération (effet de la fertilisation potassique).

A côté du tassement mécanique du sol par les engins et de la moindre protection de sa surface par la végétation clairsemée, les études ont montré que les apports continus de chlorure de potassium (300 kg/ha/an en moyenne) indispensables pour corriger la forte carence potassique native (cf. DA-CP 13 ; § I, 1-b) sont également responsables à long terme de la dégradation de la structure.

• Observations aux champs.

Les mesures de pH et les analyses de sol confirment qu'on aboutit avec l'âge à une désaturation en ions Ca^{++} et Mg^{++} du complexe absorbant des sols. Par contre, le potassium total est très élevé en replantation du fait de la fertilisation continue réalisée durant la première génération de palmiers.

Il existe d'autre part dans de nombreux essais en replantation des liaisons positives entre les productions et les teneurs foliaires en calcium qui traduisent probablement non pas une carence nutritionnelle en Ca mais un effet secondaire de la liaison entre un excès en K du sol et la stabilité structurale. L'effet destructurant de la potasse sur le sol a été mis en évidence en particulier dans l'essai DA-CP 13 où les horizons superficiels des « ronds » qui ont reçu une fumure K1 Mg0 sont plus denses que ceux ayant reçu K0 Mg1.

Profondeur (cm)	K1 Mg0	K0 Mg1
0-3	1,46	1,34
5-8	1,45	1,42
8-11	1,45	1,46/1,44

La résistance à la pénétration d'un pénétromètre est en fait beaucoup plus élevée dans l'objet K1 Mg0 que dans l'objet K0 Mg1 que ne laisseraient supposer les faibles différences de densité mesurées.

• Essai de confirmation et d'explication en colonnes de terre en laboratoire.

Les colonnes contenaient chacune 3 kg de terre. En surface, on a apporté des quantités d'engrais correspondant à des concentrations très élevées par unité de surface afin d'approcher une simulation des effets cumulés des fumures apportées aux champs pendant plusieurs décennies.

L'apport de tous les engrais potassiques et ammoniacés entraîne une coloration très forte des percolats due à des composés organiques et la plupart du temps un **colmatage des colonnes**. Ce colmatage est réversible. En ajoutant du sulfate de magnésium ou de calcium, le percolat redevient limpide et la colonne draine à nouveau.

Les essais en colonnes confirment donc bien que la fumure potassique, en excès, induit une instabilité structurale en dégradant le complexe argilo-humique.

c) Méthodes de correction.

Pour supprimer l'effet destructurant des fumures potassiques d'entretien des replantations en production, on peut envisager d'apporter un complément calcomagnésien. Les études en colonnes ont montré qu'en complétant la fumure potassique avec 20 p. 100 du poids de KCl, sous forme de super simple de plâtre ou de kiésérite, on neutralise l'effet négatif de la potasse.

Plusieurs essais montrent qu'il est possible d'améliorer la croissance des jeunes palmiers de replantation grâce à une fumure de fond calcique.

DA-ES 120. — Circonférence du collet (cm)

— 3 kg d'amendements dont 2 dans le trou de plantation

Age	Témoin	Dolomie	Tricalcique	Supersimple
1 an	67	68	68	70*
2 ans	115	115	120*	123**

DA-ES 140. — Longueur de la feuille 4 (cm) — 1 kg d'amendements sur le rond

Age	Témoin	Ciment	Plâtre
1 an	132	136**	139**

Mais l'apport d'un amendement chimique doit être complété par des façons culturales pour rétablir la structure. Un essai de sous-solage avant replantation montre, après 5 mois, un gain de croissance de 6 p. 100. On note une interaction positive et significative entre le sous-solage et l'apport de supersimple sur la bande de plantation. Le sous-solage rétablit la structure et le supersimple la stabilise en améliorant l'équilibre K/Ca.

DA-ES 143. — Circonférence au collet (cm) —
supersimple sur la bande de plantation

		0 kg/ha	1 000 kg/ha	2 000 kg/ha	Moyenne
5 mois	Témoin	34,0	32,6	32,3	33,0
	Sous-solage	34,1	35,0	36,0	35,0
	Moyenne :	34,0	33,8	34,2	

La méthode de replantation actuellement proposée est la suivante :

- abattage et andainage des vieux palmiers,
- épandage d'un engrais calcique peu coûteux sur toute la surface,
- sous-solage,
- pseudo-labour,
- trouaison, apport de la fumure calcique de fond.

6. — Cas particulier des régions sèches.

Elles se caractérisent par des déficits hydriques annuels élevés dont la moyenne est largement supérieure à 400 mm. Les résultats expérimentaux montrent alors (Sud Bénin, région de Sassandra en Côte d'Ivoire, par exemple) que le niveau critique en potassium est sensiblement plus faible que celui retenu pour les régions bien arrosées. La valeur dépend alors du déficit hydrique des 6 ou 12 mois qui précèdent, elle est comprise généralement entre 0,7 et 0,8 p. 100 mais pour certaines années de sécheresse exceptionnelle elle peut être encore beaucoup plus faible.

II. — La nutrition potassique sur les sols alluviaux

Les sols alluviaux (fluvisols) sont en général très recherchés car ils présentent un certain nombre d'avantages plus ou moins marqués selon les situations :

- topographie plane,
- bonnes caractéristiques physiques (texture et structure) sauf dans le cas d'alluvions de sables purs, ou à couches denses de galets,
- alimentation en eau quasi permanente grâce à la présence d'une nappe phréatique peu profonde (sauf dans le cas de terrasses hautes), rendant souvent le drainage indispensable,
- teneurs en éléments minéraux souvent plus élevées que celles des sols ferrallitiques.

De telles formations pédologiques ont été plantées, notamment en Colombie, au Pérou, et en Indonésie (Sumatra).

1. — Les sols alluviaux de Colombie (Rio Magdalena).

a) Nutrition potassique et chlorée (effet sur la production).

Les alluvions ont été constituées par des dépôts superposés très différents. Il s'ensuit que les 30 à 80 premiers

centimètres du sol ont une texture « franche légère » dans laquelle domine la fraction limoneuse (le taux d'argile varie de 10 à 30 p. 100, celui des limons de 30 à 60 p. 100 et celui des sables, surtout des sables fins, de 20 à 50 p. 100). Les couches plus profondes sont constituées de sables fins.

Les principales caractéristiques physico-chimiques de la couche superficielle du sol de l'expérience SA-CP 1 de la plantation de San Alberto (Indupalma) sont reprises dans le tableau VI.

TABEAU VI. — Colombie (Colombia) SA-CP 1
— Sols (Soils)

Couche superficielle (Topsoil) : 0-20 cm	
Argile (Clay)	27 %
Limon (Silt)	31 %
Sables fins (Fine sand)	37 %
Sables grossiers (Coarse sand)	5 %
Carbone	2,2 %
Azote total (Nitrogen)	0,24 %
P total	1 120 ppm
P assimilable (Olsen)	365 ppm
C.E.C. (meq/100 g)	27
K ⁺	0,32
Ca ⁺⁺	4,12
Mg ⁺⁺	0,40

pH eau (water) = 7,9

La fraction argileuse est constituée essentiellement de montmorillonite et aussi de vermiculite qui sont des argiles « gonflantes » fixant les cations. Il y a aussi de l'illite.

C'est à partir des résultats expérimentaux de l'expérience SA-CP 1 (plantation 1963) que Ollagnier *et al.* mirent en évidence pour la première fois le rôle de la nutrition en chlore dans la production du palmier à huile. Dans cette situation (vallée intérieure des Andes éloignée de la mer), l'apport annuel de 1 kg de KCl/arbre avait augmenté la production annuelle moyenne de 16 kg/arbre, soit 2 200 kg/ha (+ 11 p. 100 du témoin, qui avait produit déjà 20 t de régimes/ha) durant la période 1966/67 à 1970/71 (4 à 8 ans).

b) Effet de la nutrition en chlore sur la composition du régime.

L'analyse de la nutrition minérale montre que l'augmentation de la production est due uniquement à l'augmentation des teneurs foliaires en chlore dont la moyenne, pour la période considérée, passait, de 0,227 pour le témoin, à 0,506.

En même temps, les teneurs en potassium qui baissaient de 0,997 à 0,935 montraient que la nutrition potassique n'intervenait pas dans cette augmentation de production. La baisse des teneurs en potassium était due au synergisme Cl-Ca et à l'antagonisme K-Ca au niveau de l'absorption racinaire, ce double phénomène étant renforcé du fait de la teneur élevée en Ca⁺⁺ échangeable du sol, par un rapport Ca/K très élevé dans la solution de sol : pression calcique élevée.

La période suivante, 1971 à 1981, a confirmé les résultats précédents, l'augmentation moyenne de production annuelle a même atteint 20 kg de régimes/arbre ou 2 700 kg/ha (+ 13 p. 100) pour des teneurs en chlore qui

TABLEAU VII. — Colombie (Colombia) SA-CP 2 — Evolution des teneurs foliaires (F 17) en K, Ca, Cl et de la production.
(Evolution of leaf K, Ca and Cl contents — L17 — and yield)

Périodes	Objets (Treatments)	KCl 0	KCl 1	KCl 2
1969/70	Kg KCl/arbre (/tree), total depuis le début de l'essai (since beginning of the trial)	0	11	20,5
à (to)	K % moyenne (mean)	0,945	0,876**	0,823**
	Ca % moyenne (mean)	0,679	0,722*	0,760**
	Cl % moyenne (mean)	0,145	0,409**	0,526**
1976/77	Kg régimes/arbre/an (Kg bunches/tree/year)	174 (100)	173 (100)	181 (105)
(4-12 ans — years)	Nbre régimes/arbre (No. bunches/tree)	16,5	15,3	15,8
	Pds moyen régimes (Mean weight bunches)	11,3	12,5**	12,6**
1977/78	Kg KCl/arbre (/tree), total 1977/82	0	9,5	15
à (to)	K % moyenne (mean)	0,920	0,822**	0,798**
	Ca % moyenne (mean)	0,613	0,687**	0,718**
	Cl % moyenne (mean)	0,151	0,571**	0,649**
1982/83	Kg régimes/arbre/an (Kg bunches/tree/year)	175 (100)	181 (103)	192** (110)
(12-18 ans — years)	Nbre régimes/arbre (No. bunches/tree)	11,3	10,0**	10,4**
	Pds moyen régimes (Mean weight bunches)	15,6	18,3**	18,7**

passaient, de 0,164 p. 100 pour le témoin, à 0,463 p. 100, à 1 kg de KCl/arbre/an.

L'expérience SA-CP 2, qui a débuté en 1969 sur une plantation de 1965, confirme le rôle du chlore avec une augmentation de production de 10 p. 100 de 12 à 18 ans (Tabl. VII). Cependant, l'analyse des résultats obtenus durant les 2 périodes 1969/70 à 1976/77 d'une part et de 1977/78 à 1982/83 d'autre part, montrent que les augmentations maximales de la production sont obtenues pour des teneurs en chlore plus élevées que dans l'expérience SA-CP 1 et que le niveau optimal se situerait aux environs de 0,650 p. 100.

L'augmentation de la production, grâce à une amélioration de la nutrition en chlore, est due essentiellement à une augmentation du poids moyen des régimes qui compense largement un effet dépressif sur leur nombre (Tabl. VIII). L'essai SA-ES 49, toujours à San Alberto, a permis de déterminer comment cette augmentation de poids intervenait sur les caractéristiques de la composition du régime.

Dans cet essai, planté en 1970 (croisement Déli-Yangambi) des apports de chlore ont été commencés en 1971 sous forme d'engrais KCl et également de chlorure de sodium.

Sur six campagnes de production, de 5 ans à 10 ans d'âge, les deux formes d'apport ont augmenté significativement chaque année la production et en particulier le poids moyen (Tabl. VIII).

Les résultats d'observations de la composition des régimes et des fruits sont récapitulés dans ce tableau (2 campagnes complètes d'observations, arbres de 9 et 10 ans, près de 900 régimes analysés).

La correction de la déficience en chlore :

— augmente le poids du régime, à la fois par l'accroissement du nombre de fruits et de leur poids individuel,

— accroît le poids de la noix de 52 p. 100 tout en conservant identique le poids de pulpe par fruit (légère diminution de 2 p. 100 non significative),

— multiplie par deux le poids de chaque amande, le poids de la coque n'étant augmenté que de 26 p. 100,

— double le taux d'extraction des palmistes,

— conserve identique la richesse en huile de la pulpe,

— augmente la taille des noix (Fig. 5).

Au niveau du régime, l'application de KCl augmente de 11 p. 100 le poids de pulpe sur régime, tout en réduisant sensiblement la proportion de rafles (— 5 p. 100) et multiplie par 1,3 le poids d'amande de chaque régime.

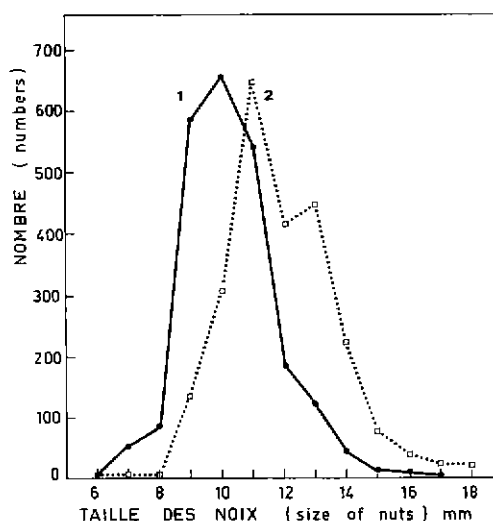


FIG. 5. — Répartition des noix par classe de taille (Distribution of nuts by size categories).

1 = Témoin, sans Cl (Control without Cl).

2 = Objet 2 kg KCl/arbre/an (Treatment 2 kg KCl/tree/year).

TABLEAU VIII. — Colombie (Colombia) — SA-ES 49 — Composition des régimes et des fruits
(Bunch and fruit composition)

Caractères analysés (Traits analysed)		Arbres sans Cl (Trees without chlorine)	Arbres avec Cl (Trees with chlorine) 2 kg KCl/arbre/an (/tree/year)	Effet de KCl (Effect of KCl) P. 100 et signification (and significance)
Nbre de régimes analysés (No. of bunches analyzed)		443	445	—
Teneurs en chlore (Chlorine content)		0,085	0,464	—
Composition des régimes (Bunch composition)				
Poids moyen (Mean weight)	kg	16,5	19,1	+ 16 **
Nbre fruits/régime (No. fruits/bunch)		1 065	1 234	+ 16 **
P. 100 de fruits sur régime (fruits/bunch)		55,4	57,7	+ 4 **
Pds fruits/régime (Weight fruits/bunch)	kg	9,2	11,1	+ 21 **
Pds rafles/régime (Weight stalks/bunch)	kg	7,3	8,0	+ 10
Proportion rafles/régime (Proportion stalks/bunch)	%	44	42	— 5
Composition des fruits (Fruit composition)				
Poids moyen de (Mean weight of) 1 fruit	g	8,72	9,19	+ 5 **
Pds pulpe/fruit (Weight pulp on fruit)	g	7,50	7,32	— 2 ns
Proportion pulpe/fruit (Proportion pulp/fruit)	%	86,0	79,4	— 4 **
Proportion huile/pulpe (Proportion oil/pulp)	%	57,3	58,0	+ 1 ns
Poids de 1 amande (Weight of 1 kernel)	g	0,44	0,88	+ 100 **
Proportion amande/fruit (Proportion kernel/fruit)	%	5,0	9,7	+ 94 **
Proportion amande/noix (Proportion kernel/nut)	%	36	47	+ 31
Poids coque/fruit (Weight shell/fruit)	g	0,78	0,98	+ 26 **
Proportion coque/fruit (Proportion shell/fruit)	%	8,9	10,8	+ 21 **
Poids d'une noix (Weight of one nut)	g	1,22	1,86	+ 52
Taux d'extraction (Extraction rate)				
Poids pulpe/régime (Weight pulp/bunch)	kg	7,9	8,8	+ 11 **
Proportion pulpe/régime (Proportion pulp/bunch)	%	47,6	45,8	— 4 **
Poids amande/régime (Weight kernel/bunch)	kg	0,47	1,08	+ 133 **
Proportion amande/régime (Proportion kernel/bunch)	%	2,8	5,6	+ 100 **
Proportion huile/régime (Proportion oil/bunch)	%	25,4	24,3	— 5

En définitive, au niveau de cet essai, l'apport de 2 kg de chlorure de sodium a augmenté en moyenne les rendements annuels de :

- + 3,7 kg d'huile de palme/arbre,
- + 4,9 kg de palmistes,

soit, à l'hectare, des suppléments de production de 500 kg d'huile de palme et 660 kg de palmistes.

La correction de la déficience en Cl permet d'obtenir un taux de palmiste de 5,6 p. 100, comparable à ce qu'on peut obtenir avec le même type de matériel végétal dans des situations non carencées en Cl.

Cet effet du chlore sur les composantes de la production : accroissement du poids moyen du régime, réduction

moins que proportionnelle du nombre de régimes, modification de la composition du régime, en particulier, un accroissement du nombre de fruits par régime, présente quelques analogies avec l'effet de *Elaeidobius kamerunicus* sur la production, la composition du régime, comme il ressort au tableau IX.

c) La dynamique du potassium dans les sols d'alluvions.

Un essai de percolation a été effectué en même temps avec le sol alluvial de San Alberto et avec les sables tertiaires ferrallitiques de La Mé (Côte d'Ivoire). La concentration de KCl appliquée n'a été que de 30 g/m² (0,016 meq/100 g de terre des colonnes). Cette concentra-

TABLEAU IX. — Effet de *Elaeidobius kamerunicus* en Malaisie —
Effet du chlore en Colombie, sur la composition des régimes
(Effect of *Elaeidobius kamerunicus* in Malaysia — Effect of chlorine in Colombia on bunch composition)

		Malaisie (Malaysia) <i>Elaeidobius</i>		Colombie (Colombia) Cl	
		Avant (Before)	Après (After)	Sans (Without)	Avec (With)
Poids moyen des régimes (Mean bunch weight)	kg	15,2	19,8	16,5	19,1
Fruit/régime (Fruit to bunch)	p. 100	56,0	62,9	55,4	57,7
Poids moyen de 1 fruit (Mean fruit weight)	g	11,8	9,5	8,7	9,2
Poids moyen mésocarpe humide (Mean wet mesocarp weight)	g	9,8	7,6	7,5	7,3
Poids moyen amande (Mean kernel weight)	g	0,82	0,79	0,44	0,88
Poids moyen coque (Mean shell weight)	g	1,20	1,07	0,78	0,98
Amande/fruit (Kernel to fruit)	p. 100	7,02	8,46	5,0	9,7
Mésocarpe humide/fruit (Wet mesocarp to fruit)	p. 100	82,70	80,03	86,0	79,4
Mésocarpe humide/régime (Wet mesocarp to bunch)	p. 100	46,35	50,37	47,6	45,8
Huile/régime (Oil to bunch)	p. 100	22,41	23,94	25,4	24,3

tion, dix fois inférieure à celle utilisée pour l'essai décrit au paragraphe 1-1-5 b, correspond à la concentration réelle des applications d'engrais au champ d'une dose annuelle de 1 kg de KCl/arbre. Par ailleurs, la quantité d'eau de lixiviation apportée était plus importante : 1 000 mm au lieu de 840 mm en équivalent pluviométrique.

A la fin de l'essai, le sol de La Mé n'avait retenu que 12 p. 100 du K apporté, ce qui rejoint le résultat du premier essai décrit (17 p. 100 de K retenu), malgré les différences expérimentales. Les alluvions de San Alberto, par contre, ont retenu 96 p. 100 du K apporté, la moitié environ sous forme échangeable et l'autre moitié probablement a été énergiquement fixée par la fraction argileuse. La C.E.C. élevée des sols alluviaux retient donc facilement le potassium de l'engrais, et malgré les percolations répétées, qui appauvrissent la solution de sol en K, il n'y a pas de libération compensatrice de K. On peut voir dans ce phénomène une conséquence de la concentration élevée en Ca^{++} dans la solution de sol et du pH élevé qui, en présence de certaines argiles, favorisaient la rétrogradation du potassium. Si on admet que les rapports entre les quantités totales percolées sont représentatifs des solutions de sol, on peut calculer les coefficients de sélectivité pour chacun des sols.

$$S = \frac{\text{K}^+/\text{Ca}^{++} \text{ (phase solide)}}{\text{K}^+/\text{Ca}^{++} \text{ (phase liquide)}}$$

La valeur de ce rapport est de 0,9 p. 100 pour les sables tertiaires de Côte d'Ivoire, elle est de 4,6 p. 100 pour les sols alluviaux de San Alberto. Ces deux rapports montrent bien que K est beaucoup plus fortement absorbé par les alluvions que par les sables tertiaires. Cette conclusion est en plein accord avec les résultats expérimentaux (expérience SA-CP 1).

2. — Les sols alluviaux du Pérou (Rio Huallaga).

La vallée du Huallaga est comme celle du Magdalena en Colombie, une vallée intérieure des Andes qui n'est jamais arrosée par des formations nuageuses d'origine maritime.

Les alluvions varient sensiblement mais elles ont en général une texture « franche » plus ou moins riche en éléments fins. Les principales caractéristiques physico-chimiques de la couche superficielle des sols de l'expérience PE-CP 1 de la plantation de Tocache (Emdepalma) sont indiquées dans le tableau X.

La fraction argileuse est constituée pour environ 1/3 de vermiculite (argile gonflante), de 1/3 d'illite, de 1/4 de kaolinite et de minéraux divers pour le reste.

L'expérience PE-CP 1, mise en place en 1969 sur une

TABLEAU X. — Pérou (Peru) — PE-CP 1 — Sols (Soils)

Profondeurs (Depths)		0-20 cm	20-40 cm
Argile (Clay)	p. 100	27	32
Limon (Silt)	p. 100	47	34
Sables fins (Fine sand)	p. 100	20	23
Sables grossiers (Coarse sand)	p. 100	12	11
Carbone	p. 100	1,55	0,59
Azote total (Nitrogen)	p. 100	0,16	0,76
P total	ppm	525	370
P assimilable (Olsen)	ppm	35	29
C.E.C.	meq/100 g	9,7	7,6
K^+	meq/100 g	0,24	0,22
Ca^{++}	meq/100 g	5,4	1,9
Mg^{++}	meq/100 g	1,1	0,7
pH eau (water)		5,2	5,3

plantation de l'année, compare essentiellement 4 doses de magnésium subdivisées chlorure (Mg Cl_2) et sulfate (Mg SO_4) et deux doses d'azote subdivisées chlorure ($\text{NH}_4 \text{Cl}$) et sulfate [$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$]. Les résultats expérimentaux (Tabl. XI) montrent, comme ceux de Colombie, l'existence de teneurs foliaires natives faibles en chlore dans cette vallée éloignée de la mer. Il s'ensuit que tous les engrais à base de chlorures augmentent à la fois les teneurs foliaires en chlore et la production par rapport aux engrais à base de sulfates. On note, par ailleurs, les mêmes effets secondaires sur la nutrition minérale qu'à San Alberto, qui se traduisent par une augmentation des teneurs foliaires en calcium (synergisme Ca-Cl) et une baisse des teneurs en potassium (antagonisme Ca-K) plus rapide sur les parcelles recevant des chlorures.

TABLEAU XI. — Pérou (Peru) — PE-CP 1 — Evolution des teneurs foliaires en K, Ca, Cl et de la production (Evolution of leaf K, Ca and Cl contents and yield)

Période : 1977/82 (8-13 ans-years)

Nature des engrais (Type of fertilizers)	Chlorures (Chlorides) (NH_4) — Mg	Sulfates (Sulphates) (NH_4) — Mg
K % en (in) 1976 — en (in) 1981	1,03 — 0,84	1,08 — 0,91**
Ca % moyenne (mean)	0,642	0,598*
Cl % moyenne (mean)	0,418	0,162**
Kg de régimes/arbre/an (bunches/tree/year)	151 (100)	140** (93)

Comme à San Alberto, les teneurs élevées en Ca^{++} du complexe absorbant, entraînent une « forte pression calcique » au niveau de l'absorption racinaire.

3. — Les sols alluviaux de Sumatra (Indonésie).

Une expérience SG-CP 1 (plantation de Seunagan) est installée sur des alluvions argileuses de la Côte Ouest de Sumatra (Tabl. XII).

TABLEAU XII. — Indonésie (Indonesia) SG-CP 1 — Sols (Soils)

Couche superficielle (Topsoil) : 0-20 cm		
Argile (Clay)	p. 100	52
Limon (Silt)	p. 100	40
Sables fins (Fine sand)	p. 100	6
Sables grossiers (Coarse sand)	p. 100	2
Carbone	p. 100	4,1
Azote total (Nitrogen)	p. 100	0,45
P total	ppm	1 323
P assimilable (Olsen)	ppm	96
C.E.C.	meq/100 g	27,8
K^+	meq/100 g	0,17
Ca^{++}	meq/100 g	5,9
Mg^{++}	meq/100 g	3,8
pH eau (water)		4,7

Ce sol présente donc des teneurs faibles en K échangeable mais, par contre, il se distingue par des teneurs en Ca^{++} et Mg^{++} très élevées.

Cette expérience SG-CP 1 (3^e) qui a été mise en place en 1978 sur une plantation de 1975, étudie les effets de trois doses annuelles d'urée, de phosphate de roche et de chlo-

rure de potassium (0, 1,5, 3 kg/arbre). Les apports de KCl ont provoqué dès 1979 des augmentations significatives des teneurs en potassium et en chlore, mais pas d'augmentation significative des teneurs en calcium. Cependant, même avec la dose la plus élevée de KCl (3 kg), les teneurs en potassium atteignent tout juste 0,89 p. 100 en 1983 après 5 ans d'application. Cette lente évolution des teneurs en potassium est peut-être à rapprocher, comme en Colombie, des teneurs élevées en Ca^{++} (5,9 meq) et aussi en Mg^{++} (3,8 meq) du complexe absorbant. Un doute subsiste sur les parts respectives des nutriments potassiques et chlorés dans l'augmentation du rendement (+ 11 p. 100 pour l'objet K1 (Tabl. XIII).

TABLEAU XIII. — Indonésie (Indonesia) SG-CP 1 —
Effet de la fumure potassique .
(Effect of potassium fertilizer)
Période : 1980/81 à (to) 1982/83
(5 à (to) 8 ans-years)

Doses KCl/arbre/an (/tree/year)	0 kg	1,5 kg	3 kg
Teneurs en K (moyenne) (K contents-mean)	0,533	0,764**	0,837**
Teneurs en Cl (moyenne) (Cl contents-mean)	0,422	0,638**	0,723**
Kg régimes/arbre/an (bunches/tree/year)	176 (100)	195 (111)	187 (106)

III. — La nutrition potassique sur les sols formés sur des structures d'origine volcanique à Sumatra

Six expériences étudient les effets du chlorure de potassium sur la nutrition minérale et la production de plantations âgées de 3 à 23 ans.

1. — Côte occidentale.

L'expérience LB-CP 1 (Lae Butar) mise en place en 1980 sur une plantation 1974, est située sur des sols sablo-argileux légers (20 p. 100 d'argile) et riches en sables grossiers (60 p. 100) jusqu'à 50 cm de profondeur. Le sol de surface (0-20 cm) est peu acide (pH 5), bien pourvu en matière organique (2 p. 100 de carbone), mais les teneurs en P total et en cations échangeables, K^+ en particulier, sont faibles ($\text{Ca}^{++} = 1,4$ meq, $\text{Mg}^{++} = 0,22$ meq, $\text{K}^+ = 0,10$ meq).

Cette expérience étudie les effets de 3 doses annuelles d'urée, de phosphate et de chlorure de potassium (0, 1, 2 kg/arbre) et deux de kiésérite. Bien que récente, elle a déjà mis en évidence un effet de la fumure phosphatée pour les 2 campagnes 1981/82 et 1982/83. Par contre, le KCl relève les teneurs en K qui étaient très faibles en 1983 pour le témoin (0,65 p. 100), mais jusqu'au niveau de 0,88 p. 100 seulement pour K2. L'effet sur la production, bien qu'atteignant 14 p. 100 avec l'objet K2 pour la campagne 1982/83, n'était pas encore significatif. Il semblerait néanmoins que l'effet du KCl est plus net, une fois corrigée la déficience en phosphore (Tabl. XIV), ce qui peut s'expliquer aussi bien par des besoins accrus en potassium que par la correction d'une déficience et accentuée par l'effet dépressif du phosphate.

TABLEAU XIV. — Indonésie (Indonesia) — LB-CP 1 —
Effet de la fumure potassique en présence de phosphate de roche
(Effect of potassium fertilizer in presence of rock phosphate)
(1,5 kg/arbre-/tree)

Doses KCl Kg/arbre/an (/tree/year)	Teneurs en K moyennes 1982-83 (Mean K contents 82-83)	Production moyenne (Mean yield) Kg régimes/arbre (bunches/tree) Moyenne (mean) 81/82-82/83
0	0,720	191 (100)
1	0,659	200 (105)
2	0,847	221 (116)

2. — Côte orientale.

Cinq expériences étudient la nutrition potassique du palmier à huile sur les « sols liparitiques » de cinq plantations différentes. En fait, les caractéristiques physico-chimiques des sols de ces 6 expériences sont assez différentes (Tabl. XV et XVI) malgré leur parenté originelle.

La réponse à la fertilisation potassique n'est pas systématique puisqu'elle n'est observée que dans deux expériences sur six.

Dans l'expérience AL-CP 1 (plantation 1959) le KCl n'a pas eu d'effet principal sensible sur la production, malgré un teneur en K^+ échangeable du sol plutôt faible (0,14 meq). Néanmoins, il intervient comme facteur complémentaire de la production en augmentant celle-ci de 15 p. 100 (Tabl. XVII), dès que les déficiences principales en N et P ont été corrigées. Précisons que la correction de cette double déficience a procuré une augmentation moyenne de production de 80 p. 100 (70 kg de régimes/arbre/an) de 14 à 23 ans.

Le niveau foliaire optimal en K aurait donc une valeur relativement faible voisine de 0,850 p. 100.

L'expérience AK-CP 1 (plantation 1978) présente des teneurs foliaires natives en K faibles (0,750 p. 100 à 3-4 ans). Mais là aussi, l'effet de la fumure potassique (0,700 g de KCl par arbre) n'intervient qu'après que les déficiences en N, et surtout en P, aient été corrigées.

L'accroissement de production a été de 17 kg de régimes/arbre/an (+ 19 p. 100) sur la période 3-4 ans.

Il s'agit là d'un exemple de comportement pas tout à fait en accord avec les analyses de sol qui font état d'une richesse en K échangeable plutôt bonne, soit 0,18 meq/100 g et, de plus, d'un rapport Mg/K peu élevé, soit 1,28.

Au contraire, le sol de l'expérience TG-CP 2 (plantation 1971) présente un complexe absorbant nettement moins favorable pour la nutrition potassique (Tabl. XVI) et cependant les arbres ont une teneur native en K satisfaisante et l'engrais potassique n'a pas d'effet sur la production.

En conclusion, l'examen de la composition du complexe absorbant des sols permet, dans une certaine mesure, de prévoir ce que sera la nutrition potassique des arbres, cependant :

— toutes les situations ne peuvent s'expliquer de la sorte,

— l'importance de la déficience et le niveau de réponse de l'engrais potassique ne peuvent s'obtenir qu'à partir de résultats expérimentaux.

Lorsqu'il y a effet de la fumure potassique sur la production, des doses modestes de KCl sont suffisantes pour obtenir l'effet maximal, assurant une rentabilité économique satisfaisante (Tabl. XVIII).

TABLEAU XV. — Sumatra — Côte Orientale (East Coast)

Couche superficielle (Topsoil) : 0-20 cm							
	p. 100	Aek Loba		Bangun Bandar	Sungei Liput	Aek Kwasan	Tanah Gambus
		AL-CP 1	AL-CP 2	BB-CP 3	ST-CP 1	AK-CP 1	TG-CP 2
Argile (Clay)	—	26	4	27	46	47	32
Limon (Silt)	—	3	15	22	30	23	27
Sables fins (Fine sand)	—	7	19	11	21	18	13
Sables grossiers (Coarse sand)	—	64	62	40	3	12	28
C	—	3,0	2,7	1,3	1,7	1,8	1,4
N	—	0,25	0,25	0,17	0,24	0,15	0,17
pH eau (water)	—	5,2	5,6	4,9	4,4	4,9	5,1

TABLEAU XVI. — Indonésie (Indonesia)

Caractéristiques du complexe absorbant des sols par expériences et réponses à la fertilisation
(Characteristics of the absorbent complex of soils according to experiments and responses to fertilization)

Couche superficielle (Topsoil) : 0-20 cm													
Nomenclature des essais (Designation of trials)	Caractéristiques des sols (Soils characteristics)								Caractéristiques de la nutrition des arbres (Characteristics of the trees' nutrition)				
	Complexe absorbant (Absorbent complex)								K		Mg		
	Ca++	K+	Mg++	Mg/K	K/S	K/CEC	Mg/S	Mg/CEC	Déficience naturelle	Teneurs (Contents) F-(L) 17	Réponses à (Responses to) KCl	Teneurs natives (Natural contents)	Réponses à (Responses to) Mg
	(meq/100 g)								(Natural deficiency)				
Côte O. (W. Coast) LB 1	1,4	0,10	0,22	2,20	0,06	0,01	0,12	0,02	oui (yes)	0,740 (7-8) (1)	oui, après correction déficiences N, P (yes, after correction of N, P deficiencies)	0,20	non (no)
Côte E. (E. Coast) AL 1	1,4	0,14	0,12	0,85	0,08	0,02	0,07	0,02	non (no)	0,900-0,800 (14-24)	oui, après correction déficiences N, P (yes, after correction of N, P deficiencies)	0,22-0,20	non (no)
AL 2	2,0	0,09	0,06	0,67	0,04	0,01	0,03	0,01	non (no)	0,800 (24-27)	non (no)	0,06	oui (yes)
BB 3	2,0	0,18	0,56	3,11	0,07	0,015	0,20	0,05	non (no)	1,040 (7-8)	non (no)	0,18	non, Mg pas absorbé (No, Mg not absorbed)
ST 1	3,6	0,33	1,79	5,42	0,06	0,02	0,31	0,11	non (no)	0,980 (7-8)	non (no)		non étudié (not studied)
AK 1	1,1	0,18	0,23	1,28	0,11	0,04	0,14	0,05	oui (yes)	0,750 (3-4)	oui, après correction déficiences N, P (2) (yes, after correction of N, P deficiencies)	0,23	non (no)
TG 2	2,3	0,15	0,67	4,47	0,05	0,01	0,21	0,05	non (no)	0,950 (9-11)	non (no)	0,20	non (no)

(1) (x - y) = âge des arbres (age of trees)

(2) Reste à déterminer la part respective, dans les réponses à KCl, des éléments K et Cl (The respective share of K and Cl in responses to KCl remains to be determined).

S = somme des cations échangeables (sum of exchangeable cations).

CEC = capacité d'échange des cations (Cation exchange capacity).

Chiffres en gras = valeurs pouvant expliquer la déficience ou la non-déficience en K des arbres (Figures in bold type = values that may explain K deficiency or lack of deficiency of the trees).

TABLEAU XVII. — Indonésie (Indonesia) — AL-CP 1 — Effet du KCl en présence d'une fertilisation N P

(Effect of KCl in presence of N, P fertilization)

Période : 1973/74 à (to) 1981/82 (14 à (to) 23 ans (years))

Doses annuelles de KCl/arbre (Annual doses of KCl/tree)	0 kg	1 kg	2 kg
Teneurs en K (moyenne) p. 100 (K contents-mean)	0,775	0,861	0,832
Teneurs en Cl (moyenne) p. 100 (Cl contents-mean)	0,283	0,456	0,500
Kg de régimes/arbre/an (bunches/tree/year)	147(100)	169(115)	161(110)

TABLEAU XVIII. — Effet de l'engrais KCl sur la production
(Effect of KCl fertilizer on yield)

Expériences (Experiments)	Age des arbres (of trees) (ans-years)	Doses de (of) KCl kg/arbre/an (/tree/year)	Quantité de régimes supplémentaires par kg d'engrais (No. of extra bunches per kg fertilizer)
LB-CP 1	7- 8	1,0	15
AL-CP 1	14-23	1,0	22
AK-CP 1	3- 4	0,7	24

3. — Dynamique des cations dans les sols.

Un essai de percolation en colonnes de terre, identique à celui décrit pour le sol de La Mé (Côte d'Ivoire), a également été réalisé avec le sol d'Aek Loba (expérience AL-CP 1).

Les résultats mettent en évidence des mécanismes d'échange et de fixation plus complexes que ceux observés pour les sols de La Mé. A l'issu du 24^e arrosage il restait encore dans le sol 43 p. 100 du K^+ apporté à la surface de la colonne, soit 0,98 meq/100 g de sol (17 p. 100 pour La Mé). Mais on constate que seulement 0,87 meq ou 89 p. 100 de ce potassium est retenu par le complexe absorbant, tandis que la fraction retenue restante (0,11 meq) est fixée sous « forme non échangeable ». De plus, l'absorption de 0,87 meq de K^+ par le complexe absorbant a entraîné le déplacement de seulement

0,50 meq/100 g de $Ca^{++} + Mg^{++}$ échangeables. Une partie du K^+ a donc pu se fixer sur des sites d'échange, autres que ceux occupés initialement par Ca^{++} et Mg^{++} .

Un autre fait important est que la quantité totale de Ca^{++} , percolée à partir des colonnes recevant du KCl, est 4 fois plus élevée que la quantité de Ca^{++} échangeable désorbée.

Il existe donc une source de calcium facilement soluble (plagioclases de la fraction sableuse probablement), qui maintiendrait les teneurs en Ca^{++} échangeable à un niveau élevé, ainsi que la concentration de la solution de sol, d'où l'hypothèse actuelle du « sol à forte pression calcique » pour expliquer l'absence de réponse de la fumure potassique. Les travaux complémentaires qui sont actuellement en cours devraient permettre de mieux expliquer les phénomènes observés.

Cette première partie a abordé les problèmes de nutrition minérale du palmier à huile en Afrique de l'Ouest, en Amérique du Sud et en Indonésie pour l'azote, le phosphore, le potassium et le chlore. La nutrition magnésienne et les effets de la fertilisation et du matériel végétal sur la qualité de l'huile de palme feront l'objet du prochain article à paraître dans notre numéro d'Août-Septembre 1984.

SUMMARY

Effects of nutrition on yield. Genetic progress and effects of nutrition on the quality of palm oil (to be continued).

M. OLLAGNIER, J. OLIVIN, *Oléagineux*, 1984, 39, N° 7, p. 349-368.

This article presents the results of research performed by the Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I.R.H.O.) concerning mineral nutrition and the quality of oil. The problem of fertilization is dealt with for each element in turn. The article shows that nitrogen contents are higher in West Africa than in Asia. This explains the considerable effects of nitrogen manuring observed in the latter zone but not in Africa. In general, there is a good agreement between low soil phosphorus contents and strong responses to phosphate fertilizers. Responses to potassium fertilizers are very frequent throughout the world experimental network. Their intensity depends on physico-chemical characteristics and climate. The main results obtained on lateritic and alluvial soils, and soils of volcanic origin are indicated: response to fertilization and evolution of soils with potassium fertilizer. The effect of magnesium fertilizer is quite closely linked to the nature of soils. Magnesium absorption is easy for palms planted on desaturated lateritic soils, but is far more irregular, or even non-existent, on soils formed from materials of alluvial or volcanic origin. In areas far from the sea, soils are often chlorine-deficient. KCl application may have a positive effect on yield, even if potassium is not at deficiency level, by increasing leaf chlorine contents to around 0.6 p. 100. Bunch analyses show that chlorine increases mean bunch weight and may double the kernel extraction rate. There are few results showing an effect of mineral nutrition on the quality of palm oil. On the contrary, there is a high variability in the unsaturated fatty acid level in oil from *E. guineensis* and *E. melanococca*. The high heritability of this level and the use of the good relationship between the fatty acid composition of fruit and leaf oils in an early test offer good prospects for improvement.

RESUMEN

Efectos de la nutrición en la producción. Mejora genética y efectos de la nutrición en la calidad del aceite de palma (continuará).

M. OLLAGNIER, J. OLIVIN, *Oléagineux*, 1984, 39, N° 7, p. 349-368.

El artículo presenta los resultados de las investigaciones realizadas por el Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (I.R.H.O.), sobre la nutrición mineral y la calidad del aceite. Se trata el problema de la fertilización un elemento tras otro. La exposición demuestra que los contenidos de nitrógeno son más altos en el África occidental que en Asia. Esto explica los efectos importantes de la fertilización nitrogenada observados en esta última área, pero que no se observaron en el África. Se encuentra por lo general una buena correspondencia entre los contenidos bajos de fósforo en los suelos y las respuestas altas a los abonos fosfatados. Las respuestas a la fertilización potásica son muy frecuentes en el conjunto de la red experimental mundial. Su intensidad depende de las características fisicoquímicas y del clima. Se indican los principales resultados en los suelos ferralíticos, en los suelos aluviales y en los suelos de origen volcánico: respuesta a la fertilización y evolución de los suelos debido a la fertilización potásica. El efecto de la fertilización magnesiana está lado a la indole de los suelos. La absorción de magnesio es fácil para las palmas sembradas en los suelos ferralíticos desaturados, y en cambio es mucho más irregular, y hasta es nula, en el caso de los suelos formados en materiales de origen aluvial o volcánico. En las áreas distantes del mar, los suelos sufren muchas veces carencias de cloro. El aporte de KCl puede surtir un efecto positivo en la producción, hasta si el potasio no muestra ningún nivel de carencia, subiendo los contenidos de cloro de la hoja hasta cerca de 0,6 p. 100. Los análisis de racimos muestran que el cloro incrementa el peso medio de racimos y puede duplicar la tasa de extracción de almendras. Existen pocos resultados que muestran un efecto de la nutrición mineral en la calidad del aceite de palma. En cambio, hay una alta variabilidad del porcentaje de ácidos grasos no saturados en el aceite de *E. guineensis* y *E. melanococca*. La buena heredabilidad de este porcentaje, y la utilización en una prueba temprana de la buena relación entre la composición de ácidos grasos del fruto y la de la hoja, ofrecen buenas posibilidades de mejora.

Effects of nutrition on yield. Genetic progress and effects of nutrition on the quality of palm oil (1)

M. OLLAGNIER (2), J. OLIVIN (3)

During the last meeting of the PORIM's Programme Advisory Committee, Dr. Ng Siew Kee held a seminar on « Advances in oil palm nutrition, agronomy and productivity in Malaysia ».

This paper will examine the results of the I.R.H.O.'s research into problems of the same nature, which occur in a certain number of oil palm-growing regions other than Malaysia : West Africa, South America, Indonesia (1).

Problems of nutrition and fertilization will be examined for each element in turn, then the effects of fertilizers and planting material on the quality of oil will be dealt with.

EFFECTS OF MINERAL NUTRITION ON YIELD

A. — NITROGEN NUTRITION

Results of fertilization experiments performed on lateritic West African soils (Ivory Coast, Benin, Nigeria, Cameroon) are totally different from those obtained, e.g., in Indonesia, on soils of volcanic origin.

In West Africa, response to nitrogen fertilizers are nil, whereas in Indonesia, however, young plantings have nitrogen contents of 7 trials studying ammonium sulphate at Marihat Research Station (extremes : + 0.5 t for a nitrogen content of 2.46 in the control, and 4 t for a N content of 2.25 in the control).

The strongest response was observed in an experiment performed by P. T. Socfindo, where it reached an average of 6.5 t bunches/ha over an 8-year period (13-21 years old). Subsequently (22 and 23 years old) the response decreases and only reaches 3 t bunches/ha.

In Africa, the N content of the leaves decreases little with age. In Indonesia, however, young planting have nitrogen contents varying from 2.7-2.9, then, if no nitrogen is applied, these decrease to about 2.10 in unfertilized plantations. They can be stabilized at about 2.5 by application of nitrogen fertilizer (Fig. 1). The reason for this difference in performance is unknown.

The nitrogen balance in an oil palm plantation is not clearly understood, since Dr. Ng Siew Kee indicates that nitrogen exports in an oil palm plantation producing 25 t bunches/ha reach 192 kg of nitrogen per hectare, whereas large quantities of nitrogen fertilizer (3 kg urea/tree) provide only 180.

B. — PHOSPHORUS NUTRITION

Under the aegis the World Phosphate Institute (IMPHOS), the GERDAT and I.R.H.O. Institutes undertook in 1976 a systematic survey of the phosphorus content of tropical soils.

The samples, which were taken from fertilizer experiments where yield and leaf analyses were well supervised, were subjected to a series of analyses and biological tests (in pot culture, according to the method of Chaminade, using *Agrostis* as a control plant). Various methods of phosphorus titration were used :

- Total P (perchloric and nitric attack),
- Saunders P (extraction using hot soda, 0.1 N),
- Olsen P (extraction using a reagent consisting of NH_4F , 0.5 N and NaHCO_3 , 0.5 N at pH 8.5),

— Bray P, No. 2 (extraction using NH_4F , 0.03 N and HCl, 0.1 N),

— P extracted using resins,

— P fixed, or soil phosphorus fixing capacity.

Table I shows, for the main types of soils, classified as lateritic, alluvial and volcanic (to which we shall return in the sections on potassium and magnesium), the threshold soil P levels corresponding to the different extraction methods, the mean phosphorus levels corresponding to these different methods, taken from a certain number of fertilization experiments, and the responses obtained to phosphate application.

In general, low contents and strong responses (and vice versa) were in good agreement in lateritic and alluvial soils. In volcanic soils there were some discrepancies in experiments performed in Indonesia, and either the soil phosphorus level, or the fixing capacity must be considered to link soil characteristics and response to phosphate.

C. — POTASSIUM NUTRITION

Like nitrogen, potassium is one of the elements most badly needed by the oil palm for its vegetative growth (immobilization), and for bunch production (export). For a modest annual yield of 15 t bunches/ha, approximately 100 kg of potassium are required.

Responses to potassium fertilizer are very frequent throughout the world experimental network. Examination of the inventory of all these experiments shows that 70 p. 100 of them respond to potassium fertilizer, although with greatly varying degrees of intensity. According to the location, one ton of KCl produces an increase in yield of 6-14 tons of bunches (1.2-2.8 tons of oil).

The intensity of the response largely depends on the physico-chemical characteristics of the soil and on the climate. Thus, in the oil palm-growing zone, the following main categories of soils may be distinguished :

- more or less desaturated lateritic soils (ferralsols) formed on mother rocks of sedimentary, eruptive and metamorphic origins,
- deposits, generally immature, formed on river alluvia (fluvisols),
- immature soils, or soils developing towards lateritization, formed on material of volcanic origin.

By means of a very varied multi-site experimental network, the I.R.H.O. has been able to study the level of potassium nutrition and the fertilizing element requirements of oil palms planted in each of the three main groups of soils. The experimental results reveal major differences in performance according to the physico-chemical characteristics of the soils.

I. — Potassium nutrition in lateritic soils

Many types of soils planted with oil palm belong to this major category. They are predominant in West Africa, frequent in Latin America (e.g., Amazon basin), and exist in Malaysia and Indonesia.

We shall mainly describe results obtained in the Ivory Coast, since they are representative enough to characterize potassium nutrition in all oil palm plantations planted on lateritic soils, whose common denominator is the presence of a dominant proportion of kaolinite in the clay fraction. This clay has a low fixing power, from the point of view both of quantity and retentive energy, for both natural and applied potassium. The amounts of potassium initially available are therefore very easily taken up by the palm and ensure satisfactory potassium nutrition for the first few years, at least during the first generation on cleared forest land. In the long run, however, potassium deficiency is unavoidable, as shown by the following examples :

(1) Paper presented at the 4th Programme Advisory Committee, 11-21 April 1984, Kuala Lumpur (Malaysia).

(2) Director of Research, I.R.H.O., 11, square Pétrarque, 75116 Paris (France).

(3) Agronomist, Agronomy Department, I.R.H.O., GERDAT, B.P. 5035, 34032 Montpellier (France).

1. — Soils formed on sandy tertiary sediments of the Terminal Continental plateau in the Ivory Coast.

These are highly-desaturated lateritic soils, generally yellow in colour (xanthic ferralsols). They are sandy in texture on the surface, and sandy-clay to clayey-sand in depth (100 cm). The carbon and total nitrogen contents of the topsoil (0-20 cm) are close to 1 and 0.1 p. 100, respectively. The pH is acid : 4.5-5.5. The sum of exchangeable cations is between 1 and 2 meq/100 g ; it is less than 1 meq/100 g in the most highly desaturated series (savannah zones). The exchangeable potassium content is low or very low, since it is usually between 0.05 and 0.15 meq/100 g. Total and assimilable phosphorus levels are generally high.

a) Forest zone.

Experiment LM-CP 19 at La Mé (1965 planting) is a very good illustration of the potassium nutrition situation. The purpose of this experiment, which finished in 1978, was to ascertain as accurately as possible the conditions of mineral nutrition when the palms began to suffer from potassium deficiency. The very simple protocol consisted of only two treatments : K0 and K1, without and with potassium fertilizer, respectively (Fig. 2).

Leaf contents in treatment K1 were maintained between 0.9 and 1 p. 100 by annual chloride applications, followed by potassium sulphate applications, of 3 kg/tree, which may have been excessive.

On the contrary, contents in treatment K0, with no potassium fertilizer, remained around 0.9 p. 100 up to the age of 8 years, then plunged to almost 0.6 in five years. Therefore, oil palms planted on tertiary sands can absorb potassium from the fertilizer, thus avoiding a drop in leaf contents.

The two treatments could be differentiated by a significant difference in mean bunch weight from year 9 (1974) onwards, i.e., as soon as leaf contents in K0 had passed the 0.9 p. 100 threshold. The yield in kg bunches did not differ until two years later, with 99 and 118 kg of bunches/tree/year for K0 and K1, respectively. However, over a period of four consecutive years, it was noted that the difference in yield became significant even before contents crossed the 0.9 p. 100 threshold (means of 1970/71-1973/74 seasons, with 106 and 112 kg/tree/year for K0 and K1, respectively).

For contents between 1.0 and 0.9 p. 100, potassium fertilizer enables yield to be increased by about 5 p. 100, which is a sufficiently wide margin to make small doses profitable ; below 0.9 p. 100, the increase mounths rapidly to more than 10 p. 100, and makes massive doses profitable (about 3 kg of potassium fertilizer/tree/year).

Experiment LM-CP 23 at La Mé (1965 planting) studies three different annual doses of potassium chloride (0, 1 and 2 kg/tree). The leaf K content of the control crossed the 0.9 p. 100 threshold in 1975 at the age of 10 years, then fell to below 0.6 p. 100 in 1981. However, leaf contents for the intermediate dose of KCl remained above 0.8 p. 100 and those for the highest dose remained above 0.9 p. 100.

Table II shows the first stages of mineral nutrition and yield observed in this experiment.

Earlier results show that, after its appearance, potassium deficiency rapidly becomes very severe, and two periods may be differentiated ; firstly, from 1969 to 1973, leaf K contents and yields were identical for the three treatments ; then, after 1975, the potassium deficiency worsened from year to year for the control, whereas the potassium contents of the other two treatments only became noticeably different during the last few years. During the second period, a decreased annual dose of 1 kg of KCl produced an increase of 10 kg/tree in annual yield compared to controls, which is nearly as high as that obtained with the 2-kg dose.

Over an average period of 10 years, a moderate annual dose of 1 kg KCl/tree enabled the leaf potassium content to be maintained above, or very close to the 0.9 p. 100 threshold, and this fertilizer was made profitable by the increased yield.

The two above-mentioned experiments have shown that in the absence of fertilization, a potassium deficiency inevitably began, and that it was revealed by a rapid decrease in leaf contents and yield. They also showed that this development can easily, and economically be avoided by the application of a potassium fertilizer. Experiment CI-CP 1 at Eloka (1974 planting) gives us further information on the persistence of potassium fertilizer and on the effects of fertilization not undertaken until leaf contents begin to decrease when potassium deficiency first appears.

The interruption of potassium fertilizer at 8 years of age (1972)

when the leaf content was 0.907 p. 100, triggered off a rapid decrease in leaf contents two years later (0.7 p. 100 at 13 years). **The effect of potassium fertilizer on mineral nutrition therefore only persists for about two years.**

When potassium fertilizers was applied for the first time at 8 years (1972), when contents just reached the 0.9 p. 100 threshold, it prevented a slight decrease in potassium content in 1973, and then maintained it at a level almost equal to that of the treatment that had received fertilizer since the beginning of the trial. The yields of both treatments were similar, and both were greater than that of the unmanured control (Table III).

In order to maintain the yield potential, it is sufficient to apply fertilizer just at the time when the leaf contents indicate an incipient deficiency. The correction of mineral nutrition is almost immediate.

b) Savannah zone.

Savannah soils are among the tertiary sands most naturally deficient in K⁺. Also, during the first few years of planting, the palms do not benefit from the restitutions to the soil provided by decomposing windrows.

Experiment DA-CP 13 at Dabou (1964 planting) studied three doses of potassium fertilizer. The control (K1) itself also received a small amount of fertilizer (500 g followed by 750 g of KCl/tree/year to compensate for the poverty of the soils). However, the potassium deficiency was very severe to start with, since the leaf content of the control was below 0.6 p. 100 with 500 g of KCl. The contents of the other treatments were greatly improved, with a progressive effect of increasing doses of KCl ; however, even the highest dose did not bring leaf contents up to 1 p. 100 at the age of 15 years.

Doses K2 and K3 produced substantial increases in yield in comparison with the control. They vary from 20-25 p. 100 according to dose, and the period under consideration (Table IV).

The profitability factor R(1) for fertilization varies greatly according to the doses considered (Table V).

During the first period (1967/73), the increase in yield due to the K2 dose was extremely profitable (R = 2.9), and even more so during the second period (R = 4.9). On the contrary, the additional dose separating K2 and K3 was only just compensated by the increased production ; this is a profitless operation with no obvious advantage, unless circumstances are strongly in favour of maximum production.

2. — Soils formed on the « granites » of the Soubré region (Ivory Coast - Experiment CI-CP 5).

These soils are highly desaturated. The carbon and total nitrogen contents of the topsoil (0-20 cm) are close to 2.5 and 0.2 p. 100, respectively. The pH is acid : 5. The sum of exchangeable cations is always low : 3.6 meq/100 g, with an exchangeable K⁺ content of 0.10 meq/100 g, which is low. Total and assimilable phosphorus levels are also low.

Experiment CI-CP 5 in Soubré (1969 planting on forest land) studied four doses of KCl and two doses of superphosphate (absence-presence). Right from the start, leaf analysis revealed a phosphorus deficiency with regard to nitrogen nutrition (N/P balance), which was easily corrected by the single superphosphate applications that had been made since planting (2 kg/tree from 2 years onwards). This phosphate fertilizer produced a significant 11 p. 100 increase in total yield (4 t bunches/ha) for the period 1975/78 (6-9 years).

Potassium fertilizer had no effect on potassium contents before 1980 (11 years), during which year the K content of the K0 control not receiving KCl dropped to 0.8 p. 100, whereas that of levels K2 and K3 was maintained at 0.9 p. 100. The same year, an interaction between phosphate and potassium fertilizers appeared for the first time. For the cumulative yield of the 5 seasons 1978/79-1982/83 (10-14 years), this interaction was not significant, but the highest total yield, 65.2 t of bunches, was obtained with treatment P₁K₁, whereas the P0K control produced only 57.7 t (- 11.5 p. 100).

3. — Conclusions.

The experimental results obtained on desaturated lateritic soils in the Ivory Coast, as a whole, enable general rules to be formulated for potassium fertilization, according to leaf contents.

a) The initial potassium reserves of the soils, reinforced in forest zones by those of the mass of vegetation cut down in land preparation, provide excellent potassium nutrition without

fertilizer application up to the age of 8-10 years (with a few rare exceptions).

b) Subsequently, leaf potassium contents, which are initially greater, than 1 p. 100, decrease progressively as the natural reserves are used up. When contents approach the level of 1 p. 100, there is not yet any increase in yield justifying the application of fertilizer (although there are exceptions). However, moderate application of potassium fertilizer is not wasted, since it retards the impoverishment process of soils, and enables smaller amounts to be applied later.

c) If no K fertilizer is applied, leaf contents continue to decrease, and cross the 1 p. 100 threshold. Within the 1-0.9 p. 100 range, the application of a dose of 1,500 g/tree/year cancels out the decrease in contents, but does not always lead to a profitable increase in yield.

d) When contents drop below 0.9 p. 100 without fertilizer application, the increase in yield obtained by maintaining contents at 0.9 p. 100 varies progressively from 1-3 tons bunches/hectare, and valorizes increasing doses of KCl from 1,500-3,000 g inclusive.

e) A lengthy, and probably permanent halt in potassium fertilization leads to a rapid drop in potassium contents, which fall to 0.85 p. 100 in less than 3 years, and are accompanied by noticeable losses of yield.

4. — Cation dynamics in lateritic soils.

Field trials performed on tertiary sands in the Ivory Coast have shown the great mobility of potassium applied in fertilizers in this type of soil. This mobility, which corresponds to a rapid passage of K through the « soil solution » is both an advantage and a disadvantage :

— it is an advantage, since the K thus solubilized is readily accessible to the roots, unless there is a strong cation imbalance in this soil solution ;

— it is a disadvantage, since it is then very sensitive to the phenomenon of leaching (Fig. 3), which leads to a loss of fertilizing elements. This loss may be limited by applying fertilizer over as large a surface area as possible (the whole circle for young trees, or in the interrow later).

More recently, a percolation trial in earth columns has been performed to study the dynamics of potassium (K^+) and the other cations in the surface horizon (0-20 cm) of the soil of the mineral nutrition experiment (LM-CP 23) at the La Mé research station, where a good response to potassium fertilizer is obtained (cf. section I, 1, a).

LM-CP 23 — La Mé, Ivory Coast, 1965 planting Main physico-chemical characteristics of surface soil (0-20 cm depth)

	P. 100		
Clay	14	Cation exchange capacity (1)	0.90 meq/100 g
Silt	3	Exchangeable K^+	0.05 meq/100 g
Fine sands	26	Exchangeable Ca^{2+}	0.31 meq/100 g
Coarse sands	57	Exchangeable Mg^{2+}	0.12 meq/100 g
Carbon	0.68	pH water	5.0 meq/100 g
Total nitrogen	0.67 p. 1000		

(1) Cobaltthexamine titration method.

Two treatments were studied, a control with the soil left untreated, and an experimental plot which had received, on the surface of the column, the equivalent of 300 g/m² of KCl, i.e., 3.2 meq of K per 100 g of soil in the column. This concentration was, in fact, higher than that actually used in the field, where 2 kg of KCl are used for a circle of 3 m diameter, corresponding to a dose of 70 g/m². All columns were watered with distilled water for 24 days, representing, at the end of the operation, the equivalent of 840 mm rainfall.

The results confirm the high mobility of K^+ and the low retention capacity for this cation of the La Mé soil (tertiary sands). After the 24th watering, only 17 p. 100 of the K^+ applied to the surface of the column remained in the soil, i.e., 0.40 meq/100 g soil. This small amount of K^+ was retained by the absorbent complex alone, following the displacement of an equivalent total amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} (0.35 meq/100 g). As a result, at the

end of the trial, exchangeable $K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$. A strong potassium pressure therefore exists in the soil.

5. — Evolution of soils formed on sandy tertiary sediments in oil palm plantations.

Oil palm plantations were set up in 1930 on the savannah at Dabou (South Ivory Coast). Replanting was undertaken in 1972. It appeared after several years that the yield obtained was below that which might have been expected in view of the quality of the planting material and the climatic potential. Yields were 20-30 p. 100 below those obtained in extensions (first-generation plantations).

These poor performances are associated with characteristic phenomena :

- poor development of the *Pueraria* cover, and invasion by grasses ;
- yellowing of the leaves of the palms and a reduction in the number of green leaves ;
- a noticeable aggravation of attacks by *Cercospora*, mites and termites (on roots) ;
- a deficiency of the root system, which develops and branches much less in replanting than in extension.

These phenomena are not peculiar to replanted areas, since it has been noticed that the potential of extension also deteriorates slowly, and drops at about 15 years of age.

Several hypotheses have been put forward to explain this loss in soil fertility. It appears that its cause is complex, and is related to all the phenomena of soil deterioration accompanying structural alteration and cation imbalance of the absorbent complex, especially the loss of flocculant Ca^{2+} and Mg^{2+} ions.

a) Alteration of soil structure.

• Compression of the soil.

Apparent density measurements show that surface horizons become compacted in old plantations ; on savannah, there is a loose organic horizon to a depth of 30-40 cm. In extensions, on the contrary, after 15 years, a clogged, impenetrable horizon is formed (Fig. 4) at a depth of about 5 cm in the interrows used for circulating machinery and fertilizer application.

This floor is found in replanting, since the superficial methods of land preparation cannot destroy it ; on the contrary, the numerous movements of harrows during land preparation may be partly responsible for the creation of a compact floor at about 10 cm depth.

• Reduction of the available water supply.

Water retention of the surface horizons, measured during the short dry season, is about 20 p. 100 less in replanting than in extension.

• Rain damage to soil.

In replanted areas, the undergrowth thins out progressively under the influence of maintenance and burns caused by fertilizer ; legumes are replaced by herbaceous plants. The soil surface, which is less well protected, is more likely to deteriorate through the effects of rain and runoff.

b) Mechanism of alteration (effect of potassium fertilizer).

As well as the mechanical compression of the soil by machinery and the decreased protection of surface soil by sparse vegetation, studies have shown that continuous application of potassium chloride (300 kg/ha/year on average), which is essential for correcting the serious natural potassium deficiency (cf. DA-CP 13, section I, 1-b), is also responsible, in the long run, for the deterioration of the structure.

• Observations in the field.

pH measurements and soil analyses confirm that, with age, the absorbent complex of soils becomes desaturated in Ca^{2+} and Mg^{2+} ions. Total potassium content, on the contrary, is much higher in replanting, on account of the continuous fertilization applied to the first generation of palms.

Also, in many replanting trials, positive links have been observed between yields and leaf calcium contents, which probably do not reveal a nutritional Ca deficiency, but are a side-effect of the link between excess soil K and structural stability. The destructuring effect of potash on the soil has been shown particularly in trial DA-CP 13, where the surface horizons of « circles » receiving K1Mg0 fertilizer are denser than those of circles receiving KOMg1.

Depth	K1Mg0	K0Mg1
0-3 cm	1.46	1.39
5-8 cm	1.45	1.42
8-11 cm	1.45	1.46/1.44

The resistance to penetration by a penetrometer is much higher in treatment K1Mg0 than in treatment K0Mg1 than might be supposed from the slight differences in density measured.

• *Explanatory and confirmatory earth column laboratory trial.*

Columns contained 3 kg of earth each. To the surface of these were applied amounts of fertilizer corresponding to very high concentrations per surface unit, in an attempt to simulate the cumulative effects of fertilizers applied in the field over several decades.

The application of all the potassium and ammonium fertilizers resulted in a very strong colouring of percolates due to organic compounds, and most of the time to a **clogging of columns**. This clogging was reversible, and by adding magnesium or calcium sulphate, the percolate cleared and the column began to drain again.

The column tests confirm that excess potassium fertilizer induces structural instability by degrading the clay-humus complex.

c) *Methods of correction.*

To suppress the destructuring effect of potassium fertilizers used for the maintenance of yielding replanted areas, the application of additional Ca/Mg could be envisaged. Column studies have shown that by completing potassium fertilizer by 20 p. 100 of the weight of KCl in the form of super-single, plaster or kieserite, the negative effect of potash is neutralized.

Several trials have shown that it is possible to improve the growth of young oil palms in replanted areas by using a basic calcium fertilizer.

— *DA ES 120. — Girth (cm) — 3 kg of improving fertilizer, including 2 in the planting hole.*

Age	Control	Dolomite	Tricalcium	Super-single
1 year	67	68	68	70*
2 years	115	115	120*	123**

— *DA ES 140. — Length of leaf 4 (cm) — 1 kg of improving fertilizer in the circle.*

Age	Control	Cement	Plaster
1 year	132	136**	139**

However, the application of a chemical improvement must be completed by agricultural techniques that will reestablish the structure. A subsoiling trial before replanting showed a 6 p. 100 increase in growth after 5 months. A significant positive interaction was noted between subsoiling and super-single application to the planting strip. Subsoiling restores the structure and super-single stabilizes it by improving the K/Ca balance.

— *DA ES 143. — Girth (cm) — Supersingle applied to the planting strip.*

	0 kg/ha	1,000 kg/ha	2,000 kg/ha	Mean
Control	34.0	32.6	32.3	33.0
5 months Subsoiling	34.1	35.0	36.0	35.0
Mean :	34.0	33.8	34.2	

The method of replanting proposed at present is as follows :

- felling and windrowing of old palms ;
- application of an inexpensive calcium fertilizer to the entire surface area ;
- subsoiling ;
- pseudo-ploughing ;
- hole-digging, application of basic calcium fertilizer.

6. — Dry regions - a special case.

These regions are characterized by high annual water deficits with a mean well above 400 mm. The experimental results show in these cases (e.g., South Benin, the Sassandra region of the Ivory Coast) that the critical potassium level is considerably lower than that chosen for regions with higher rainfall. The value then depends on the water deficit of the preceeding 6 or 12 months and is generally between 0.7 and 0.8 p. 100, although in years of exceptional drought it may even be much lower.

II. — Potassium nutrition in alluvial soils

Alluvial soils (fluvisols) are generally much sought after since they present a certain number of advantages, which are more or less pronounced according to situation :

- flat topography,
- good physical characteristics (texture and structure) except in the case of alluvia of pure sand or with dense layers of concretions,
- almost permanent water supply due to a shallow water table (except in the case of high terraces), often making drainage essential,
- mineral element contents often higher than in lateritic soils.

Plantations have been established on pedological formations of this kind, especially in Colombia, Peru and Indonesia (Sumatra).

1. — Alluvial soils of Colombia (Rio Magdalena).

a) Potassium and chlorine nutrition (effect on yield).

The alluvia have been formed by superimposed deposits of very different kinds. Consequently, the first 30-80 centimetres of soil are of a « free light » texture, dominated by the silt fraction (the clay content varies from 10-30 p. 100, silt from 30-60 p. 100, and sand, especially fine sand, from 20-50 p. 100). The deepest layers consist of fine sand.

The main physico-chemical characteristics of the topsoil in experiment SA-CP 1 on the San Alberto plantation (Indupalma) are in Table VI.

The clay fraction consists essentially of montmorillonite and also vermiculite, which are « swelling » clays that fix cations. There is also some illite.

It was using results of experiments SA-CP 1 (1963 planting) that Ollagnier *et al.* revealed for the first time the role of chlorine in the yield of the oil palm. In this location (internal valley of the Andes a long way from the sea), the annual application of 1 kg of KCl/tree increased the mean annual yield by 16 kg/tree, i. e., 2,200 kg/ha (+ 11 p. 100 compared to the control which had already produced 20 tons of bunches/ha), during the period 1966/67 to 1970/71 (4-8 years).

b) Effect of chlorine nutrition on bunch composition.

An analysis of mineral nutrition showed that the increase in yield was due solely to the increase in leaf chlorine contents. For the period under consideration, the mean content increased from 0.227 for the control to 0.506.

At the same time, potassium contents, which had decreased from 0.997 to 0.935, showed that potassium nutrition was not involved in this increase in yield. The decrease in potassium contents was due to Cl-Ca synergism and to K-Ca antagonism at the level of absorption by roots, and this dual effect was accentuated by the high soil exchangeable Ca^{2+} content, as shown by a very high Ca/K ratio in the soil solution, revealing high calcium pressure.

The following period, 1971-1981, confirmed the above results, and the mean annual increase in yield even reached 20 kg of bunches/tree, or 2,700 kg/ha (+ 13 p. 100) for chlorine contents which increased from 0.164 p. 100 for the control to 0.463 p. 100 with 1 kg of KCl/tree/year.

Experiment SA-CP 2, which started in 1969 on a 1965 planting, confirms the role of chlorine, with a 10 p. 100 increase in yield from 12-18 years (Table VII). However, an analysis of the results obtained during the periods 1969/70 to 1976/77 on the one hand and 1977/78 to 1982/83 on the other, shows that the maximum increases in yield were obtained for higher chlorine contents than those in experiment SA-CP 1, and that the optimal level is probably about 0.650 p. 100.

The increase in production obtained by an improvement in chlorine nutrition is essentially due to an increase in the average weight of bunches, which amply compensates a depressive effect

on their number (Table VIII). Trial SA-ES 49, also at San Alberto, enabled the influence of this increase in weight on the characteristics of bunch composition to be determined.

In this trial, planted in 1970 (Deli-Yangambi cross), chlorine application began in 1971 in the form of KCl fertilizer and sodium chloride.

Over six yield seasons, from 5-10 years of age, the two types of fertilizers applied significantly increased yield, and particularly mean weight (Table VIII) every year.

Table VIII summarizes the results of observations of bunch and fruit composition (two complete seasons of observations, trees 9 and 10 years old, nearly 900 bunches analyzed).

Correction of chlorine deficiency :

- increases bunch weight, by increasing both the number of fruit and their individual weight,
- increases the weight of the nut 52 p. 100 while keeping the same weight of pulp per fruit (2 p. 100 non-significant decrease),
- doubles the weight of each kernel, with an increase in shell weight of only 26 p. 100,
- doubles the kernel extraction rate,
- preserves the oil content of the pulp,
- increases the size of nuts (Fig. 5).

With regard to the bunch, KCl application increases the weight of pulp per bunch by 11 p. 100, while considerably reducing the proportion of bunch stalks (— 5 p. 100) and multiplying by 1.3 the weight of kernel in each bunch.

In this trial, application of 2 kg sodium chloride increased annual yields, on average, by :

- + 3.7 kg of palm oil/tree,
- + 4.9 kg of kernel,

i.e., an increased yield of 500 kg of palm oil and 660 kg of kernel per hectare.

The correction of Cl deficiency enables an extraction rate of 5.6 p. 100 to be obtained for kernel, comparable to that which can be obtained with the same type of planting material in areas without a Cl deficiency.

This effect of chlorine on yield components : increase in mean bunch weight, with a less than proportional decrease in the number of bunches, and, in particular, an increase in the number of fruits per bunch, shows certain parallels with the effects of *Elaeidobius kamerunicus* on yield and bunch composition (Table IX).

c) Dynamics of potassium in alluvial soils.

A percolation trial was performed simultaneously with the alluvial soil of San Alberto and the tertiary lateritic sands of La Mé (Ivory Coast). The concentration of KCl applied was only 30 g/m² (0.016 meq/100 g of earth in columns). This concentration, which was 10 times lower than that used in the trial described in Section I-1-5b, corresponds to the real concentration of fertiliser applications in the field, at a yearly dose of 1 kg of KCl/tree. Also, the quantity of leaching water applied was greater : 1,000 mm instead of 840 mm in rainfall equivalent.

At the end of the trial, the La Mé soil had only retained 12 p. 100 of the K applied, which is in agreement with the results of the first trial described (17 p. 100 of K retained), despite the difference in experimental conditions. The San Alberto alluvia, on the contrary, retained 96 p. 100 of the K applied, about half in exchangeable form. The other half was probably energetically fixed by the clay fraction. The high C.E.C. of alluvial soils therefore readily retains potassium from fertilizer, and, despite repeated percolations, which deplete the soil solution in K, there is no compensatory release of K. This phenomenon may be seen as a consequence of the high Ca²⁺ concentration of the soil solution, and of the high pH, which, in the presence of certain clays, favour the retrogradation of potassium. Given that ratios between the total amounts percolated are representative of soil solutions, the selectivity coefficients may be calculated for each soil :

$$S = \frac{K^+ / Ca^{2+} \text{ (solid phase)}}{K^+ / Ca^{2+} \text{ (liquid phase)}}$$

This ratio is 0.9 p. 100 for the tertiary sands of the Ivory Coast, and 4.6 p. 100 for the San Alberto alluvial soils. These two ratios show that K is much more strongly absorbed by alluvia than by tertiary sands. This conclusion is in full agreement with the experimental results (experiment SA-CP 1).

2. — The alluvial soils of Peru (Rio Huallaga).

The Huallaga valley, like the Magdalena valley in Colombia, is an internal valley of the Andes, which never receives rain from cloud formations of marine origin.

The alluvia vary considerably but they generally have a « free » texture with a greater or lesser fine element content. The main physico-chemical characteristics of the topsoil in experiment PE-CP 1 in the Tocache plantation (Emdepalma) are shown in Table X.

About 1/3 of the clay fraction consists of vermiculite (swelling clay), 1/3 illite, 1/4 kaolinite, and the rest of various minerals.

Experiment PE-CP 1, set up in 1969 in a planting dating from the same year, compared four doses of magnesium, sub-divided into chloride (MgCl₂) and sulphate (MgSO₄), and two doses of nitrogen, sub-divided into chloride (NH₄Cl) and sulphate ((NH₄)₂SO₄). The experimental results (Table XI), like those obtained in Colombia, showed that natural leaf chlorine contents were low in this valley far from the sea. Consequently, all chloride-based fertilizers increased both leaf chlorine contents and yield compared to sulphate-based fertilizers. Also, the same side-effects on mineral nutrition were noted as at San Alberto, and these were revealed by an increase in leaf calcium contents (Ca-Cl synergism) and a more rapid decrease in potassium contents (Ca-K antagonism) than in plots receiving chlorides.

As at San Alberto, the high Ca²⁺ contents of the absorbent complex led to « high calcium pressure » at the root absorption level.

3. — The alluvial soils of Sumatra (Indonesia).

An experiment, SG-CP 1 (Seunagan plantation) was set up on the clay alluvia of the West Coast of Sumatra (Table XII).

The soil exchangeable K⁺ contents are therefore very low, but Ca²⁺ and Mg²⁺ contents are very high.

This experiment (SG-CP 1 ; 3³), which was set up in 1978 for a 1975 planting, studies the effects of three yearly doses of urea, rock phosphate and potassium chloride (0, 1.5, 3 kg/tree). Since 1979, KCl applications have led to increases in potassium and chlorine content significant to two places, but no significant increases in calcium content were observed. However, even at the highest dose of KCl (3 kg), potassium contents only just reached 0.89 % in 1983 after 5 years' application. This slow evolution of potassium contents may be associated, as in Colombia, with the high Ca²⁺ (5.9 meq) and Mg²⁺ (3.8 meq) contents of the absorbent complex. There is a doubt as to the respective share of potassium and chlorine nutrition in the increased yield (+ 11 p. 100) for treatment K1 (Table XIII).

III. — Potassium nutrition in soils formed on structures of volcanic origin in Sumatra.

The effects of potassium chloride on the mineral nutrition and the yield of trees aged 3-23 years are studied in six experiments.

1. — West coast.

Experiment LB-CP 1 (Lae Butar), set up in 1980 for a 1974 planting, is situated on light sandy-clay soil (20 p. 100 clay) with a high coarse and content (60 p. 100) to a depth of 50 cm. The topsoil (0-20 cm) is not very acid (pH 5), and well-provided with organic matter (2 p. 100 carbon), but total P and exchangeable cation contents, especially K⁺, are low (Ca²⁺ = 1.4 meq ; Mg²⁺ = 0.22 meq ; K⁺ = 0.10 meq).

This experiment studies the effects of three yearly doses of urea, phosphate and potassium chloride (0, 1, 2 kg/tree) and two of kieserite. Although it is recent, it has already revealed an effect of phosphate fertilizer for the two seasons 1981/82 and 1982/83. However, KCl increases K contents, which were very low in 1983 for the control (0.65 p. 100), but only 0.88 p. 100 is reached for treatment K2. Although the effect on yield reached 14 p. 100 for treatment K2 during the 1982/83 season, it was not yet significant. However, it appears that the effect of KCl is more pronounced once the phosphorus deficiency is corrected (Table XIV), which may be explained as much by the increased potassium requirements as by the correction of a deficiency, and is emphasized by the depressive effect of phosphate.

2. — East Coast.

Five experiments study the potassium nutrition of the oil palm on liparitic soils in five different plantations. In fact, the physico-chemical characteristics of the soils in these six experiments are fairly different (Tables XV, XVI), despite their related origins.

Response to potassium fertilization is not systematic, since it was only observed in two out of six experiments.

In experiment AL-CP 1 (1959 planting), KCl had no noticeable main N and P deficiencies had been corrected. It must be pointed out that the correction of this dual deficiency led to an 80 p. 100 mean increase in yield (70 kg bunches/tree/year) from 14 to 23 years.

The optimal leaf K level is therefore probably relatively low : close to 0.850 p. 100.

Experiment AK-CP 1 (1978 planting) has low natural leaf K levels (0.750 p. 100 at 3-4 years). But in this experiment too, the effect of potassium fertilizer (0.700 g of KCl/tree) is only felt after N, and especially P deficiencies have been corrected.

Yield increased by 17 kg of bunches/tree/year (+ 19 p. 100) over the 3-4 year period. This performance is not quite in accord with the soils analyses, which reveal a rather good exchangeable K content (0.18 meq/100 g), and also a fairly low Mg/K ratio (1.28).

On the contrary, the absorbent complex of the soil in experiment TG-GP 1 (1971 planting) is much less favourable for potassium nutrition (Table XVI), yet trees have a satisfactory natural K content, and potassium fertilizer has no effect on yield.

In conclusion, by examining the composition of the absorbent complex of soils, it is possible, to a certain extent, to foresee what the potassium nutrition of the trees will be like, although :

- not all situations can be explained in this way,
- the severity of the deficiency and the level of response to potassium fertilizer can only be calculated from experimental results.

When there is an effect of potassium fertilizer on yield, modest

doses of KCl are sufficient to obtain the maximum effect, and ensure satisfactory financial profitability (Table XVIII).

3. — Cation dynamics in soils.

A percolation trial in earth columns, identical to that described for the La Mé soil (Ivory Coast), was also performed with the Aek Loba soil (experiment AL-CP 1).

The results reveal more complex exchange and fixation mechanisms than those observed for the La Mé soils. After the 24 th watering, 43 p. 100 of the K^+ applied to the surface of the column remained in the soil ; i. e., 0.98 meq/100 g of soil (17 p. 100 for La Mé). However, it was noted that only 0.87 meq or 89 p. 100 of this potassium was retained by the absorbent complex, whereas the remaining fraction (0.11 meq) was fixed in « non-exchangeable » form. Also, the absorption of 0.87 meq of K^+ by the absorbent complex resulted in the displacement of only 0.50 meq/100 g of exchangeable $Ca^{2+} + Mg^{2+}$. Therefore, part of the K^+ was able to fix itself to exchange sites other than those initially occupied by Ca^{2+} and Mg^{2+} .

Another important fact is that the total amount of Ca^{2+} percolated from columns receiving KCl was four times greater than the amount of exchangeable Ca^{2+} desorbed. There therefore exists a source of readily soluble calcium (plagioclases, probably from the sandy fraction), which may maintain exchangeable Ca^{2+} contents, as well as the concentration of the soil solution, at a high level, thus giving rise to the present hypothesis of « high calcium-pressure soil » to explain the lack of response to potassium fertilizer. The further studies that are at present under way should provide a better explanation of the phenomena involved.

The first part of this article has dealt with problems of oil palm mineral nutrition in West Africa, South America and Indonesia for nitrogen, phosphorus, potassium and chlorine. Magnesium nutrition and the effects of fertilization and planting material on the quality of palm oil will be the subject of the next article.

**NO SE OLVIDE DE RENOVAR
LA SUSCRIPCIÓN A NUESTRA REVISTA**